



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD AZCAPOTZALCO

DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
POSGRADO EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL

VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES POR
MUESTREO ESTADÍSTICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL

P R E S E N T A

LELIA BRISEIDA GUILLÉN LÓPEZ

DIRECTORES DE TESIS: **DRA. CONSUELO GÓMEZ SOBERÓN**

M. C. ALEJANDRO ALDAMA OJEDA

MÉXICO, D. F.

OCTUBRE DE 2005

Se agradece el apoyo económico recibido por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología para la realización de los estudios de maestría que dan origen al presente documento.

A los profesores Dr. Orlando Javier Díaz López, Dra. Consuelo Gómez Soberón, y M. C. Alejandro Leonardo Aldama Ojeda, por las observaciones y comentarios que hicieron sobre el mismo.

De igual forma, se agradece a M. I. Eduardo Arellano Méndez y al M. I. Hugón Juárez García, Dr. Alonso Gómez Bernal, por proporcionar la información relativa a la Ciudad de Chilpancingo, Guerrero y la Colonia Roma de la Ciudad de México. Al ingeniero Hever Chavez Morita, por el análisis estadístico de la información de la Ciudad de Chilpancingo. Al M. C. Jorge Alfredo Aguilar Carboney y al ingeniero Rafael Hernández Gómez, por la realización del levantamiento en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

ÍNDICE GENERAL

Índice general	III
Índice de Tablas	V
Índice de Figuras	IX
Resumen	XI
<u>1.</u> Introducción.....	1
1.1.- Objetivo.....	2
1.2.- Distribución de la tesis.....	3
<u>2.</u> Antecedentes	5
2.1.- Aspectos generales del riesgo sísmico	5
2.1.1 Peligrosidad sísmica.....	6
2.1.2 Vulnerabilidad sísmica	7
2.1.3 Daño sísmico.....	8
2.1.4 Mitigación del riesgo sísmico	9
2.2 Métodos de evaluación de la vulnerabilidad para edificaciones	10
2.3 Metodología desarrollada en la UAM.....	12
2.3.1.- Censo y manejo de los datos.....	12
2.3.2.-Características estructurales de las edificaciones censadas.....	13
2.3.3.-Asignación de grado de daño y clase de vulnerabilidad	13
2.3.4.- Estimación de la vulnerabilidad.....	13
2.3.5.-Estimación del grado de daño.....	15
2.3.6.- Generación de mapas	16
2.3.7.- Evaluación del riesgo sísmico	16
<u>3.</u> Técnicas de inferencia estadística.....	18
3.1.- Determinación del tamaño de la muestra.....	19
3.2.- Muestreo.....	20
3.2.1.- Tipos de muestreo probabilístico	20
3.3.- Pruebas de hipótesis.....	23
3.4.- Prueba de hipótesis para la diferencia entre dos proporciones.....	24
3.5.- Prueba de independencia.....	25
3.6.- Estadística descriptiva.....	27
3.6.1.- Tablas de frecuencia.....	27
3.6.2.- Percentiles muestrales	27
<u>4.</u> Evaluación de la información en la Colonia Roma, Ciudad de México	29
4.1.-Manejo de los datos	30
4.1.1 Características de las estructuras censadas en la Colonia Roma.	31
4.2 Determinación de la vulnerabilidad	32
4.4.- Resumen de resultados.....	34
4.5 Generación de mapas	35
4.6.- Selección de la muestra.....	37
4.6.1.- Determinación del tamaño de la muestra	37
4.6.2.- Muestreo aleatorio simple	38
4.6.3.- Muestreo por conglomerados	39

4.6.4.- Muestreo sistemático.....	42
4.7.- tablas de frecuencia.....	44
4.8.- Evaluaciones estadísticas de las variables.....	48
4.9.- pruebas de independencia.....	53
4.10.- Curvas de fragilidad.....	54
<u>5.</u> Análisis de la información de la ciudad de Chilpancingo, Guerrero.....	56
5.1.- Selección de la muestra.....	57
5.1.1.- Determinación del tamaño de la muestra	58
5.1.2.- Muestreo aleatorio simple	58
5.1.3.- Muestreo por conglomerados	59
5.1.4.- Muestreo sistemático.....	63
5.2.- Tablas de frecuencia	63
5.3.- Evaluaciones estadísticas de las variables.....	66
5.4.- Pruebas de independencia entre variables.....	70
5.5.- Curvas de fragilidad.....	71
<u>6.</u> Propuesta de metodología para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica	73
6.1.- Zona de estudio.....	73
6.2.- Selección del tipo de muestreo estadístico	74
6.3.- levantamiento de estructuras y asignación del grado de daño y vulnerabilidad.....	75
6.4.- Base de datos y análisis de las variables	75
6.5.- Procedimiento de inferencia hacia la población.....	76
<u>7.</u> Inferencia: ejemplos de aplicación.	80
7.1 Colonia Roma	80
7.2 Chilpancingo, Guerrero	84
<u>8.</u> Aplicación del método propuesto en Tuxtla Gutiérrez Chiapas.....	88
8.1. Geología estructural del Estado.	88
8.1.1. Características sismológicas del lugar.	89
8.2.- Zona de estudio.....	91
8.3.- Muestreo.....	91
8.4.- Características de la muestra	93
8.5.- Inferencia.....	95
<u>9.</u> Comentarios finales y líneas de investigación abiertas.....	98
9.1.-Aspectos generales.....	98
9.2.-Líneas de investigación abiertas	100
Referencias.....	101
APÉNDICES	104
Apéndice I. Levantamiento de daño general para una población	105
Apéndice II. Versión abreviada de la EME-98. (G. Grünthal, 1998)	110
Apéndice III. Tablas de frecuencia de la Colonia Roma.....	111
Apéndice IV. Diferencia entre proporciones de la Colonia Roma.	116
Apéndice V. Tablas de frecuencia de Chilpancingo	120
Apéndice VI. Tablas de frecuencia de Tuxtla Gutiérrez.....	124

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 2.1. Clases de vulnerabilidad según la Escala Macrosísmica Europea. (Arellano Méndez <i>et al.</i> , 2003).....	14
Tabla 2.2. Daño en estructuras de mampostería (Grünthal, 1998).....	15
Tabla 2.3. Daño en edificios de concreto armado. (Grünthal, 1998)	16
Tabla 3.1. Tabla de contingencia “r x c”	25
Tabla 3.2. Frecuencia y frecuencia relativa acumulada.....	27
Tabla 4.1. Características estructurales. (Juárez García <i>et al.</i> , 2004).....	31
Tabla 4.2. Clasificación y vulnerabilidad asignada para estructuras.....	34
Tabla 4.3. Clasificación y grado de daño asignado para estructuras	34
Tabla 4.4. Tamaños de muestras calculados para los diferentes tipos de muestreo y niveles de significancia.....	38
Tabla 4.5. Manzanas en la muestra.....	40
Tabla 4.6. Fracciones de muestreo para los diferentes niveles de significancia en el muestreo por conglomerados.	40
Tabla 4.7. Conglomerados elegidos.....	40
Tabla 4.8. Conglomerados seleccionados para un 85% de nivel de confianza	41
Tabla 4.9. Valores para la figura 4.16.....	45
Tabla 4.10. Valores para la Figura 4.17.....	46
Tabla 4.11. Valores de la Figura 4.18.....	47
Tabla 4.12. Frecuencias de la clase de vulnerabilidad en la población.	48
Tabla 4.13. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo sistemático al 95% de confianza.	49
Tabla 4.14. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo por conglomerados al 95% de confianza.	49
Tabla 4.15. Resumen de frecuencia y valor p para muestreo aleatorio simple al 95% de confianza.	49
Tabla 4.16. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo sistemático al 90% de confianza.....	50
Tabla 4.17. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo por conglomerados al 90% de confianza	50
Tabla 4.18. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo aleatorio simple al 90% de confianza.	50
Tabla 4.19. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo aleatorio sistemático al 85% de confianza.	51
Tabla 4.20. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo por conglomerados al 85% de confianza.	51
Tabla 4.21. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo aleatorio simple al 85% de confianza.	51
Tabla 4.22. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo sistemático al 80% de confianza.....	52
Tabla 4.23. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo por conglomerados al 80% de confianza.	52
Tabla 4.24. Resumen de frecuencia y valor p para muestreo aleatorio simple al 80% de confianza.	52

Tabla 4.25. Prueba de independencia	53
Tabla 4.26. Valores correspondientes a la Figura 4.19.....	55
Tabla 5.1. Número de estructuras por manzana en la población.....	57
Tabla 5.2. Manzanas en la muestra.....	59
Tabla 5.3. Fracciones de muestreo para los diferentes niveles de significancia en el muestreo por conglomerados.	60
Tabla 5.4. Conglomerados elegidos.....	61
Tabla 5.5. Conglomerados seleccionados para un 85% de nivel de confianza	61
Tabla 5.6. Manzanas a muestrear a un nivel de significancia del 80%.	63
Tabla 5.7. Fracciones de muestreo calculadas para muestreo sistemático	63
Tabla 5.8. Frecuencias para la variable “Vulnerabilidad” en la población.....	66
Tabla 5.9 Resumen de frecuencias y valor p para muestreo sistemático al 95% de confianza.	66
Tabla 5.10. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo por conglomerados al 95% de confianza.	67
Tabla 5.11. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo aleatorio simple al 95% de confianza.	67
Tabla 5.12. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo sistemático al 90% de confianza.	67
Tabla 5.13. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo por conglomerados al 90% de confianza.	68
Tabla 5.14. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo aleatorio simple al 90% de confianza.	68
Tabla 5.15. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo sistemático al 85% de confianza.	68
Tabla 5.16. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo por conglomerados al 85% de confianza.	69
Tabla 5.17. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo aleatorio al 85% de confianza.	69
Tabla 5.18. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo sistemático al 80% de confianza.	69
Tabla 5.19. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo por conglomerados al 80% de confianza.	70
Tabla 5.20. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo aleatorio al 80% de confianza.	70
Tabla 5.21. Prueba de independencia	71
Tabla 5.22. Valores correspondientes a la Figura 5.10.....	72
Tabla 6.2. Campos necesarios en la base de datos digital.....	76
Tabla 6.3. Variables estadísticas.	76
Tabla 6.4. Valores límite del índice de vulnerabilidad	79
Tabla 7.1. Cantidades inferidas para un muestreo sistemático al 95% de confianza.	80
Tabla 7.2. Rangos del índice de vulnerabilidad	81
Tabla 7.3. Cantidades inferidas con el procedimiento II para un muestreo sistemático al 95% de confianza.	83
Tabla 7.4. Cantidades inferidas de un muestreo por conglomerados al 95% de confianza	83
Tabla 7.5. Cantidades inferidas con el procedimiento II, para un muestreo por conglomerados al 95% de confianza	84
Tabla 7.6. Cantidades inferidas mediante un muestreo sistemático al 95%.	84
Tabla 7.7. Rangos del índice de vulnerabilidad	85

Tabla 7.8. Cantidades requeridas en la población	86
Tabla 7.9. Cantidad de estructuras para inferencia II	87
Tabla 8.1. Sismos importantes en Tuxtla Gutiérrez.	90
Tabla 8.2. Cantidad de manzanas y estructuras en la zona muestreada.....	92
Tabla 8.3.-Clases de vulnerabilidad obtenidas.....	93
Tabla 8.4.- Años de construcción considerados.....	93
Tabla 8.5. Cantidades inferidas en la población.	96
Tabla III.1. Frecuencias para la variable “Ubicación”.....	111
Tabla II.2. Frecuencias para la variable “Año de construcción”.....	111
Tabla III.3. Frecuencias para la variable “Número de niveles”.....	111
Tabla III.4. Frecuencias para la variable “Número de sótanos”.....	112
Tabla III.5. Frecuencias para la variable “Uso principal”.....	112
Tabla III.6. Frecuencias para la variable “Tipo de cimentación”.....	112
Tabla III.7. Frecuencias para la variable “Material”.....	113
Tabla III.8. Frecuencias para la variable “Tipología estructural”.....	113
Tabla III.9. Frecuencias para la variable “Sistema de piso”.....	113
Tabla III.10. Frecuencias para la variable “Regularidad en planta”.....	114
Tabla III.11. Frecuencias para la variable “Regularidad vertical”.....	114
Tabla III.12. Frecuencias para la variable “Daños previos por sismo”.....	114
Tabla III.13. Frecuencias para la variable “Reparaciones anteriores”.....	114
Tabla III.14. Frecuencias para la variable “Seguridad de los elementos estructurales”.....	114
Tabla III.15. Frecuencias para la variable “Clase de vulnerabilidad”.....	115
Tabla III.16. Frecuencias para la variable “Grado de daño”.....	115
Tabla IV.1. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo sistemático al 95% de confianza.....	116
Tabla IV.2. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo por conglomerados al 95% de confianza.....	116
Tabla IV.3. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo aleatorio simple al 95% de confianza.....	116
Tabla IV.4. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo sistemático al 90% de confianza.....	117
Tabla IV.5. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo por conglomerados al 90% de confianza.....	117
Tabla IV.6. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo aleatorio simple al 90% de confianza.....	117
Tabla IV.7. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo sistemático al 85% de confianza.....	117
Tabla IV.8. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo por conglomerados al 85% de confianza.....	118
Tabla IV.9. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo aleatorio simple al 85% de confianza.....	118
Tabla IV.10. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo sistemático al 80% de confianza.....	118
Tabla IV.11. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo por conglomerados al 80% de confianza.....	118
Tabla IV.12. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo aleatorio simple al 80% de confianza.....	119
Tabla V.1. Frecuencias para la variable “Ubicación”.....	120
Tabla V.2. Frecuencias para la variable “Año de construcción”.....	120

Tabla V.3. Frecuencias para la variable “Número de niveles”	120
Tabla V.4. Frecuencias para la variable “Número de sótanos”	120
Tabla V.5. Frecuencias para la variable “Uso principal”	121
Tabla V.6. Frecuencias para la variable “Tipo de cimentación”	121
Tabla V.7. Frecuencias para la variable “Material”	121
Tabla V.8. Frecuencias para la variable “Tipología estructural”	122
Tabla V.9. Frecuencias para la variable “Sistema de piso”	122
Tabla V.10. Frecuencias para la variable “Regularidad en planta”	122
Tabla V.11. Frecuencias para la variable “Regularidad vertical”	122
Tabla V.12. Frecuencias para la variable “Daños previos por sismo”	122
Tabla V.13. Frecuencias para la variable “Reparaciones anteriores”	123
Tabla V.14. Frecuencias para la variable “Grado de daño”	123
Tabla VI.1 Frecuencias para la variable “Ubicación”	124
Tabla VI.2. Frecuencias para la variable “Año de construcción”	124
Tabla VI.3. Frecuencias para la variable “Número de niveles”	124
Tabla VI.5. Frecuencias para la variable “Número de sótanos”	124
Tabla VI.4. Frecuencias para la variable “Uso principal”	125
Tabla VI.6. Frecuencias para la variable “Material”	125
Tabla VI.7. Frecuencias para la variable “Tipo de cimentación”	126
Tabla VI.8. Frecuencias para la variable “Tipología estructural”	126
Tabla VI.9. Frecuencias para la variable “Sistema de piso”	126
Tabla VI.10. Frecuencias para la variable “Regularidad en planta”	127
Tabla VI.11. Frecuencias para la variable “Regularidad vertical”	127
Tabla VI.12. Frecuencias para la variable “Daños previos por sismo”	127
Tabla VI.13. Frecuencias para la variable “Reparaciones anteriores”	127
Tabla VI.14. Frecuencias para la variable “Seguridad de los elementos no estructurales”	128
Tabla VI.15. Frecuencias para la variable “Clase de vulnerabilidad”	128
Tabla VI.16. Frecuencias para la variable “Grado de daño”	128
Tabla VI.17. Tabla de contingencia. Uso habitacional y Comercio por Manzana	129
Tabla VI.18. Tabla de contingencia. Teja de barro y Adobe por Manzana	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Propagación de la energía sísmica desde el epicentro hasta la estructura (Yépez Moya, 1996).....	6
Figura 2.2. Clases de vulnerabilidad para diferentes tipos de estructuras según la Escala Macrosísmica Europea. (G. Grünthal, 1998).....	14
Figura 2.3. Relación entre intensidad, aceleración máxima esperada y daño. (Arellano Méndez et al., 2002).....	17
Figura 3.1. Muestreo aleatorio simple en población de 25 manzanas con cuatro estructuras cada una.....	21
Figura 3.2. Muestreo aleatorio con selección sistemática.....	21
Figura 3.3. Muestreo por conglomerados en una población de 25 manzanas.....	22
Figura 3.4. Ejemplo de región de aceptación y rechazo.....	23
Figura 3.5. Prueba de hipótesis de independencia entre dos variables.....	26
Figura 4.1. Zona de estudio en Colonia Roma.....	29
Figura 4.2. Ejemplo de la información electrónica capturada para cada inmueble. (Juárez García et al., 2004).....	30
Figura 4.3. Clases de vulnerabilidad para diferentes tipos de estructuras en la Colonia Roma. (Isidro y Padilla, 2003).....	32
Figura 4.4. Detalle de la información generada para la zona de estudio. (Arellano Méndez, et al., 2003).....	36
Figura 4.5. Ejemplo de clases de vulnerabilidad en estructuras de mampostería. (Arellano Méndez et al., 2003).....	36
Figura 4.6. Ejemplo de grados de daño en estructuras de mampostería. (Arellano Méndez et al., 2003).....	37
Figura 4.7. Estructuras seleccionadas en la primera y última manzana.....	38
Figura 4.8. Manzanas muestreadas al 95% de confianza.....	39
Figura 4.9. Conglomerados elegidos a un nivel del 90% confianza.....	41
Figura 4.10. Conglomerado elegidos a un nivel del 85% confianza.....	42
Figura 4.11. Distribución del muestreo aleatorio con selección sistemática al 95%.....	43
Figura 4.12. Estructuras muestreadas para diferentes tipos de muestreo y niveles de significancia.....	43
Figura 4.13. Estructuras muestreadas con diferentes tipos de muestreo a un nivel de 95% de confianza.....	44
Figura 4.14. Cantidad de estructuras en cada clase de vulnerabilidad mediante muestreo aleatorio con selección sistemática.....	45
Figura 4.15. Cantidad de estructuras para cada clase de vulnerabilidad mediante muestreo por conglomerados.....	46
Figura 4.16. Cantidad de estructuras para cada clase de vulnerabilidad mediante muestreo aleatorio simple.....	47
Figura 4.17. Comparación de curvas de fragilidad.....	54
Figura 5.1. Zona estudiada en Chilpancingo, Guerrero.....	56
Figura 5.2. Cantidades de estructuras muestreadas a diferentes niveles de significancia.....	58
Figura 5.3. Conglomerados elegidos a un nivel de confianza del 95%.....	60
Figura 5.4. Conglomerados elegidos a un nivel de 90% de confianza.....	61
Figura 5.5. Conglomerados elegidos a un nivel de confianza del 85%.....	62
Figura 5.6. Conglomerados elegidos a un nivel de confianza del 80%.....	62

Figura 5.7. Cantidades de estructuras de diferentes clases de vulnerabilidad obtenidas en un muestreo aleatorio con selección sistemática a diferentes niveles de confianza.	64
Figura 5.8. Cantidades de estructuras de diferentes clases de vulnerabilidad obtenidas en un muestreo por conglomerados a diferentes niveles de confianza.	65
Figura 5.9. Cantidades de estructuras de diferentes clases de vulnerabilidad obtenidas en un muestreo aleatorio simple a diferentes niveles de confianza.	65
Figura 5.10. Comparación de curvas de fragilidad.....	72
Figura 6.1. Ejemplo de la información requerida para determinar el marco de muestreo a emplear	74
Figura 6.2. Ejemplo de la información requerida por manzana.....	74
Figura 6.5. Ejemplo de población.....	77
Figura 7.1. Vulnerabilidad observada (Izquierda), vulnerabilidad inferida (Derecha). .	81
Figura 7.2. Índices de vulnerabilidad inferidos en una manzana.	82
Figura 7.3. Vulnerabilidades A, B y C en el muestreo sistemático al 95%.	85
Figura 7.4. Clases A, B y C de vulnerabilidad inferida.	86
Figura 8.1. Regiones tectónicas de Chiapas. (Alonso et al., 1995)	88
Figura 8.2. Mapa geológico de Tuxtla Gutiérrez. (Alonso et al., 1995).....	89
Figura 8.3. Zona de estudio ubicada en la Colonia Centro en Tuxtla Gutiérrez.	91
Figura 8.4. Croquis de manzanas muestreadas en la población elegida.	92
Figura 8.5. Croquis de ubicaciones de estructuras de uso habitacional y comercio	94
Figura 8.6. Croquis de ubicaciones para estructuras construidas de adobe y techo de teja de barro.	95
Figura 8.7. Vulnerabilidades inferidas. Clase A, B y C.....	96
Figura 8.8. Vulnerabilidades inferidas. Clases D, E y F.....	97

RESUMEN

El presente documento contiene la información generada y los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación de maestría de quien la suscribe. Se hace una breve revisión del estado del arte en cuanto a la vulnerabilidad y las metodologías para analizarla. Asimismo, se realiza una descripción detallada del método de asignación de daño y grado de vulnerabilidad para estructuras, desarrollada en la Universidad Autónoma Metropolitana, la cual es aplicada al análisis de la información de dos poblaciones, obtenida previamente en un trabajo realizado por Arellano Méndez *et al.* (2002, 2003), en una zona de la Colonia Roma, Ciudad de México, y en un área en la Ciudad de Chilpancingo Guerrero. La información de estas poblaciones, se realiza mediante técnicas de inferencia estadística, cuya aplicación permite conocer los tipos de muestreo más adecuados para emplear en una población, permitiendo inferir las clases de vulnerabilidad de las estructuras no muestreadas, es decir, de toda la población.

La obtención de un marco de muestreo adecuado, permite analizar una cantidad menor de estructuras en una zona con una gran cantidad de ellas, identificando aquellos sistemas estructurales más vulnerables, con el fin de brindarles mayor atención mediante técnicas de reparación o de refuerzo, o el desarrollo de programas de protección civil, de manera que se eviten daños y se disminuya la cantidad de pérdidas humanas y económicas en eventos sísmicos posteriores.

Los resultados permiten proponer una metodología para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, que ha sido aplicada en las dos poblaciones citadas anteriormente. El análisis propone, en primer lugar, que no se cuenta con toda la información, esto con el fin de inferir la población, para posteriormente verificar los resultados con los datos que realmente se tienen. Además, la metodología es aplicada en una zona en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, para la cual se hace una breve descripción de las características geológicas y sismológicas halladas en la bibliografía revisada.

Para esta zona en Tuxtla Gutiérrez, se organizó el levantamiento de estructuras de una muestra recomendada por el método aquí presentado, se analizaron los datos obtenidos y se infirió la población sin el conocimiento previo de alguna información sobre el lugar, contrario a lo realizado en las zonas de la Colonia Roma y la Ciudad de Chilpancingo.

Se presentan dos técnicas de inferencia, cuyos resultados son discutidos en los ejemplos de aplicación. La metodología planteada, no solo permite inferir las clases de vulnerabilidad de la zona en estudio, sino también los valores del *índice de vulnerabilidad* para cada estructura, valor numérico que permite aproximar algunas de las características estructurales de las edificaciones inferidas, en relación a la información obtenida de la muestra. Por último, se presentan las conclusiones del trabajo realizado, y se proponen posibles líneas de investigación a seguir.



INTRODUCCIÓN

El fenómeno sísmico representa una de las manifestaciones más impactantes de la naturaleza. Las pérdidas de vidas humanas y la destrucción de las infraestructuras creadas por el hombre, demuestran el potencial devastador de este fenómeno. Así pues, la investigación del comportamiento de las estructuras frente a la acción sísmica, representa un objetivo permanente de la ingeniería sísmica.

Las últimas catástrofes sísmicas han puesto en evidencia, una vez más, el mal funcionamiento de las estructuras existentes, y la necesidad de intervenir todas aquellas estructuras que han sido diseñadas con criterios de normativas antiguas o inadecuadas o aquellos sistemas con escasa capacidad sismorresistente.

El desarrollo de nuevas filosofías de diseño y el avance en el conocimiento del comportamiento dinámico de los edificios frente a la acción sísmica, debe ser utilizado para reducir el riesgo sísmico existente en los grandes centros urbanos, debido a que éstos albergan la mayor parte de la población mundial. Por lo general, son las nuevas construcciones las únicas que incorporan los avances en el diseño de estructuras, sin embargo, éstas representan un porcentaje ínfimo sobre el total de las estructuras existentes. Así pues, es indispensable desarrollar e implementar metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico de estructuras existentes, que permitan identificar las fuentes y los posibles focos de concentración de daño. De esta forma se pueden adelantar tareas de reforzamiento y rehabilitación de estructuras, que permitan controlar y reducir el riesgo sísmico existente, evitando catástrofes que dejan como resultado pérdidas incalculables e inaceptables desde el punto de vista tanto social como económico.

Es indispensable entonces, desarrollar e implementar metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico de estructuras existentes, para reducir el número de pérdidas de vidas humanas y las pérdidas directas e indirectas asociadas a una posible falla de las estructuras.

Este trabajo se realiza, considerando que el procedimiento para evaluar el riesgo potencial de un desastre en caso de ocurrir un sismo, puede dividirse en las tres fases siguientes:

1.- Clasificación preliminar, que entre otros aspectos, debe tener en cuenta:

- La posibilidad de colapso
- La importancia de la estructura
- El coste de reparación en caso de daño severo o colapso
- La posibilidad de pérdida de vidas humanas

2.- Evaluación detallada. Aquellas estructuras que resulten más vulnerables se someten a un estudio detallado empleando modelos numéricos más complejos. Los resultados obtenidos, junto con la experiencia personal, deben aportar suficientes datos como para tomar decisiones sobre las medidas adecuadas a adoptar.

3.- Medidas de refuerzo o reparación, basándose en los datos obtenidos del estudio, el criterio de los expertos y el presupuesto disponible, se toman las medidas correspondientes como por ejemplo, refuerzo, colocación de diferentes mecanismos disipadores o derribo de la estructura.

Este trabajo está enfocado al primer tipo de evaluación, analizando de forma preliminar la vulnerabilidad sísmica de estructuras, identificando los sistemas estructurales con un desempeño deficiente para posteriormente realizar estudios más detallados que permitan desarrollar técnicas de refuerzo que garanticen un buen desempeño estructural. Este tipo de resultado del análisis de la vulnerabilidad es expresado en mapas de vulnerabilidad sísmica, muchas veces mediante el uso de sistemas de información geográfica.

La metodología propuesta puede ser utilizada para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones de un conjunto grande de estructuras en una zona de interés, considerando la necesidad de disminuir costos y tiempo en la evaluación de dicha vulnerabilidad, sin disminuir la confiabilidad de los resultados. En general el trabajo se basa en el análisis de una muestra representativa de la población objetivo, mediante encuestas aplicadas a dicha zona y para la cual se evalúan los respectivos niveles de vulnerabilidad en función de una metodología adaptada y desarrollada en la Universidad Autónoma Metropolitana. Los valores de la población no muestreada, son estimados mediante inferencia estadística, que permite generar mapas de distribución de la vulnerabilidad.

El procedimiento planteado ha sido calibrado con datos de encuestas en la población de dos zonas de estudio (Arellano Méndez *et al.*, 2002, 2003), mostrando ser económica y confiable, por lo que contribuye al desarrollo de estudios futuros de riesgo sísmico.

1.1.- OBJETIVO

Para contribuir a la reducción del número de pérdidas humanas y materiales, asociadas con una posible falla de las estructuras existentes debido a la acción sísmica, se requiere un conocimiento adecuado de la vulnerabilidad sísmica de las estructuras. Por lo tanto, el objetivo principal de este trabajo, consiste en desarrollar e implementar una metodología para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de estructuras, estudiando dos zonas de las que se han realizado estudios y se tiene una gran cantidad de información sobre las estructuras que las forma, de manera que de este estudio se

deriven recomendaciones que formen una propuesta para evaluar la vulnerabilidad en cualquier otra zona. Además, se presenta una aplicación a una zona urbana ubicada en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, en la que se aplicará directamente la metodología propuesta.

Los objetivos específicos de este trabajo son los siguientes:

- Describir los conceptos básicos y los principales métodos existentes para la evaluación de la vulnerabilidad y el daño sísmico de edificios
- Presentar el marco conceptual de la filosofía de evaluación desarrollada en la UAM basada en la Escala Macrosísmica Europea (EME).
- Desarrollar e implementar una metodología para la asignación de vulnerabilidades en una zona de estudio.
- Comparar la validez de los procedimientos propuestos con la información de la vulnerabilidad de la población, obtenida mediante encuestas directas en todos sus elementos.
- Aplicar la metodología a una zona, considerando las recomendaciones derivadas del análisis de las poblaciones analizadas, una en Chilpancingo, Guerrero, y otra en una zona de la Colonia Roma, Ciudad de México.
- Construir la base de datos de los edificios muestreados de la zona de aplicación.
- Generar mapas de vulnerabilidad de la población analizada.

1.2.- DISTRIBUCIÓN DE LA TESIS

Este trabajo está dividido en nueve capítulos, los cuales describen la problemática planteada y están distribuidos de la siguiente manera:

En el capítulo dos se describen los conceptos generales del marco teórico del problema. En específico se detallan las definiciones de riesgo sísmico, peligrosidad sísmica y vulnerabilidad sísmica. Además, se presentan las metodologías utilizadas para la evaluación de la vulnerabilidad y el daño sísmico de edificios.

El capítulo tres presenta los conceptos generales de la inferencia estadística utilizados en este trabajo, los cuales servirán para analizar la información de dos zonas, una en la Colonia Roma de la Ciudad de México y otra en Chilpancingo, Guerrero.

En el capítulo cuatro se presentan los resultados del análisis de la información de la zona estudiada en la Colonia Roma, la determinación de las clases de vulnerabilidad correspondientes, la determinación de las muestras tomadas de esta zona y las pruebas estadísticas realizadas para conocer la representatividad de cada una de ellas en relación a la población, así como para conocer la influencia en la vulnerabilidad de cada una de las variables estadísticas de la zona. Por su parte el capítulo cinco, presenta el análisis

de la información de la ciudad de Chilpancingo, Guerrero, incluyendo de la misma forma que el capítulo cuatro, el análisis de muestras obtenidas de esta población y las pruebas estadísticas correspondientes.

El capítulo seis presenta una propuesta de metodología que permite evaluar los grados de vulnerabilidad y daño en una zona determinada, empleando un método simplificado de estimación que provee una aproximación del estado de las estructuras, con lo que se identifican aquellas que requieren de un análisis detallado.

Una vez establecida la metodología de inferencia, se presentan en el capítulo siete, dos ejemplos de aplicación, uno para la población en la Colonia Roma, y otro para Chilpancingo. Ambos, tomando de base algunos resultados obtenidos en los capítulos cuatro y cinco.

En el capítulo ocho, se evalúa la vulnerabilidad sísmica en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, con la metodología aquí planteada, teniendo en cuenta las recomendaciones derivadas del estudio de las dos poblaciones anteriores, en la Colonia Roma y en la ciudad de Chilpancingo, Guerrero.

Finalmente, el capítulo nueve indica los comentarios correspondientes a los resultados y la metodología propuesta, así como algunos trabajos que puedan derivarse de los resultados obtenidos.

2

ANTECEDENTES

2.1.- ASPECTOS GENERALES DEL RIESGO SÍSMICO

Los grandes terremotos han sido considerados como las más grandes catástrofes naturales que azotan a la humanidad. Desde principios de siglo, más de 1100 sismos destructores han provocado la pérdida de vidas de más de un millón y medio de personas (Yépez Moya, 1996). Ejemplos de sismos destructivos en los últimos 25 años son los de Rumania en 1977, Chile en 1985, México en 1985, Estados Unidos en 1987, 1989 y 1994, Colombia en 1983 y 1994, Japón en 1995, cada uno con una cantidad excepcional de pérdidas humanas y económicas. (Barbat, 1998).

A partir del comienzo del siglo XX se ha empezado a comprender que los sismos son el resultado de fuerzas naturales originadas por la liberación de energía, en el proceso de evolución de la tierra. Pero la población del mundo sigue incrementando, especialmente en las grandes ciudades, hasta tal punto que en la ocurrencia de un sismo, es difícil que no se presenten enormes pérdidas.

A la pérdida de vidas humanas se añaden también las cuantiosas pérdidas económicas relacionadas a los costos de reparación o reposición de las estructuras dañadas, incluyendo el costo del contenido o las pérdidas por no poder llevar a cabo cierta actividad industrial o comercial; así como los costos económicos indirectos que pueden ser la reducción de la producción o del ahorro de la población. Aunque estos conceptos son subjetivos, en la observación de sismos pasados, las pérdidas económicas y el impacto social que se presentan, dependen del daño sufrido por los edificios y la infraestructura.

El estudio de esta problemática ha motivado el desarrollo de métodos que buscan mitigar los efectos de los sismos, y de esta necesidad han nacido los estudios de *riesgo sísmico*, entendiéndose por tal, al grado de pérdidas esperadas que sufren las estructuras durante el lapso de tiempo que permanecen expuestas a la acción sísmica. A dicho lapso de tiempo se le denomina periodo de exposición o periodo de vida útil de la estructura (Barbat, 1998).

La evaluación del riesgo sísmico requiere de la definición previa de los conceptos de peligrosidad y vulnerabilidad sísmicas, por lo que se definen en los apartados siguientes.

2.1.1 PELIGROSIDAD SÍSMICA

La *peligrosidad sísmica* es la probabilidad de que ocurra un fenómeno físico como consecuencia de un sismo, como pueden ser el movimiento mismo del terreno, así como la licuación del suelo, los deslizamientos de tierra, inundaciones, ruptura de fallas, etc. Siendo esta probabilidad, esperada dentro de un periodo de tiempo específico y en un área dada (Barbat, 1998).

El tamaño y localización de los efectos producidos por un movimiento de este tipo dependerán de diversos factores, los cuales se pueden analizar desde el punto de emisión de las ondas sísmicas en el foco, hasta llegar al punto en que pueden afectar a una población.

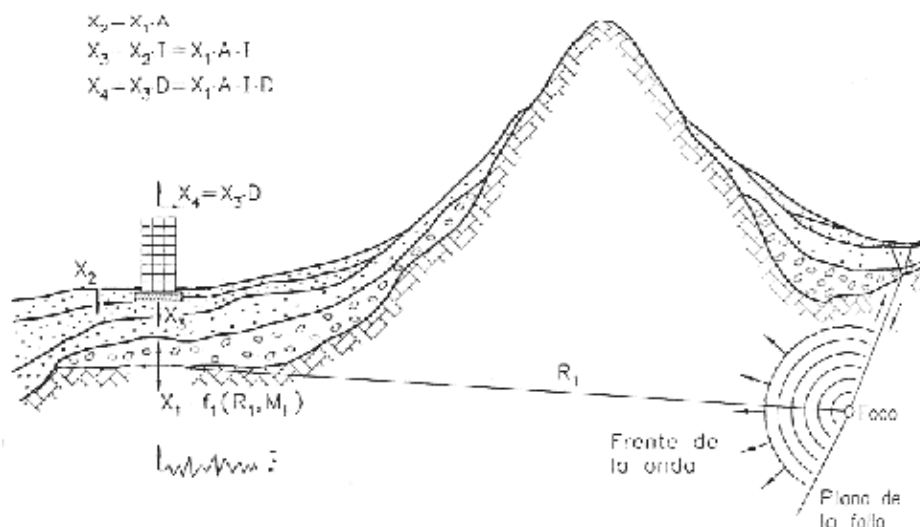


Figura 2.1. Propagación de la energía sísmica desde el epicentro hasta la estructura (Yépez Moya, 1996)

En la Figura 2.1, se presenta un esquema de los acontecimientos que se producen cuando ocurre un sismo. Desde el punto de emisión de las ondas sísmicas, llamado *foco*, parte de la energía disipada se convierte en ondas, las cuales se propagan reflejándose o refractándose, atenuándose o amplificándose, hasta llegar al basamento rocoso debajo del lugar en cuestión en forma de excitación sísmica, X_1 . Debido a las características de las diferentes capas del suelo, las ondas se transforman, y se obtiene una nueva señal que se llamará X_2 , siendo A , la función de transferencia provocada por dicha estructura del suelo. Debido al fenómeno de interacción suelo-estructura que es representado por la función de transferencia I , la señal cambia nuevamente a X_3 , que es la excitación en la base del edificio que finalmente demanda a la estructura deformaciones y esfuerzos mediante la función de transferencia D del propio edificio.

El estudio y evaluación de las funciones I y D , son un problema de ingeniería estructural, mientras que la evaluación de la excitación X_1 es analizada en estudios de peligrosidad sísmica a nivel regional o llamados estudios de *macrozonificación*, para los cuales es habitual el uso del parámetro denominado *intensidad*, para el que existen varias escalas, entre las que la escala Modificada de Mercalli (MMI) es la más utilizada. Por su parte, la función de transferencia A y la señal X_2 , es evaluada en los estudios a nivel local o de *microzonificación*, para conocer los efectos locales del suelo.

La respuesta X_4 de la estructura es el resultado de la combinación del movimiento de la cimentación con la función de transferencia D del edificio, por lo tanto, la probabilidad de una estructura a dañarse frente a un sismo, es una particularidad propia del edificio e independiente de la peligrosidad del lugar. Esta característica permite observar en un mismo sismo, que algunos edificios del mismo tipo y ubicados en una misma zona, sufren daños más severos que otros, es decir, los edificios son “más vulnerables”.

El primer paso en la evaluación de la peligrosidad sísmica es obtener las características de las zonas sísmicas. Generalmente, en su evaluación, se utilizan métodos o modelos probabilísticos basados en el establecimiento de leyes estadísticas para definir el comportamiento sísmico de una zona, las fuentes sísmicas y la atenuación del movimiento del suelo, expresando los resultados en forma de probabilidad de ocurrencia de sismos de diferentes intensidades, la probabilidad de excedencia de distintos niveles de intensidad del movimiento o los valores máximos de aceleración esperados en un lugar y en un intervalo de tiempo determinado. Sin embargo, estos modelos involucran cierta cantidad de incertidumbre lo que lleva inevitablemente a ser calculados a partir de la extrapolación de datos, la adaptación de estudios de otras regiones para que estos modelos sean completamente funcionales y, en muchos casos la simplificación de los mismos, lo que hace necesaria la opinión de expertos.

2.1.2 VULNERABILIDAD SÍSMICA

La experiencia ha enseñado, a través de los terremotos pasados, que existen estructuras de una misma tipología que pueden sufrir un mayor grado de daño debido a un terremoto a pesar de localizarse en el mismo sitio (Yépez Moya, 1996). Esto se debe a la presencia de estructuras con una calidad estructural mejor que otras, o en otras palabras, a que algunas estructuras son menos vulnerables que otras. Por lo tanto, se puede llegar a plantear que la *vulnerabilidad sísmica* de una estructura o grupo de estructuras, es la predisposición intrínseca a sufrir daño ante la ocurrencia de un movimiento sísmico de una severidad determinada (Barbat, 1998). La vulnerabilidad está directamente relacionada a la calidad estructural o a la capacidad de sus elementos estructurales para resistir un terremoto.

El que una estructura sea más o menos vulnerable ante un terremoto de determinadas características es una propiedad intrínseca de cada estructura, es decir, es independiente de la peligrosidad sísmica del sitio de emplazamiento; por lo tanto, una estructura puede ser vulnerable pero no estar en riesgo, a menos que se encuentre en un sitio con una cierta peligrosidad sísmica.

Puede observarse de lo anteriormente comentado, que los estudios de vulnerabilidad sísmica se pueden aplicar a cualquier obra de ingeniería civil, como son edificaciones, presas, carreteras, puentes, taludes, depósitos, centrales nucleares y, en general, a toda obra en la que se requiera conocer su comportamiento ante un posible terremoto y las consecuencias que puedan producir. El problema debe poder estudiarse, tanto para construcciones existentes, como para las futuras en la fase de diseño. Este trabajo se centra en el primer tipo de estructura mencionado.

Es posible evaluar la vulnerabilidad sísmica de una manera muy específica realizando un estudio exhaustivo de las estructuras o bien de manera general a nivel urbano. El conocimiento del comportamiento de una estructura es generalmente complejo y dependiente de un sinnúmero de parámetros que en su mayoría son difíciles de obtener. Algunos de estos parámetros incluyen, la obtención de las características del movimiento sísmico del lugar, la resistencia de los materiales con los que está construida, la calidad de la construcción o la interacción con los elementos no estructurales, entre otros. Por otra parte, la realización de estudios a nivel urbano se puede reducir al conocimiento de algunos parámetros básicos, para poder clasificar la estructura, o en otras palabras, al conocimiento de su calidad estructural. Normalmente, el plantear la realización de un estudio de riesgo sísmico lleva implícito la realización del análisis de grandes áreas, para lo cual, los estudios a nivel urbano son los más factibles (Mena Hernández, 2002). Estos estudios están englobados dentro de un marco estadístico, por lo que casi todas las estimaciones de la vulnerabilidad tienen cierto nivel de incertidumbre asociado. Gran parte de esto se debe a que las estimaciones se realizan sin considerar estudios detallados en la construcción, condición y comportamiento de la estructura. A pesar de esta desventaja, estos estudios son de muy fácil aplicación, y resultan adecuados para jerarquizar un gran número de inmuebles.

El concepto de vulnerabilidad puede utilizarse no solo para describir aspectos estructurales, sino también para describir aspectos no estructurales, funcionales u operativos, entre otros, y a menudo, la estimación de la vulnerabilidad se realiza basada en observaciones visuales sin referencia en cálculos del comportamiento estructural.

En un estudio de riesgo sísmico, es necesario poder predecir el nivel de daño que presentarían las estructuras ante diversos niveles de la acción sísmica, para poder tomar decisiones sobre su reparación o refuerzo. En este sentido, es necesario aclarar el tipo de afectación o daño que se considera en la evaluación de la vulnerabilidad.

2.1.3 DAÑO SÍSMICO

El término *daño*, describe todo tipo de fenómenos que representan deterioro físico de los elementos de un edificio (Yépez Moya, 1996). El nivel de deterioro que sufre una estructura puede ser de dos tipos: *daño estructural*, y *daño no estructural*:

- *Daño estructural*: es el daño de los elementos resistentes de la estructura. El grado de daño tiene que ver con la calidad de los materiales de los elementos estructurales, su configuración y tipo de sistema estructural resistente, y de las cargas actuantes. Este tipo de daño es importante en la prevención del colapso de la estructura.

En los últimos años se han utilizado algunos parámetros de la respuesta estructural como por ejemplo, las distorsiones de entrepiso, las demandas de ductilidad, cantidad de energía disipada, cortantes de entrepiso, etc., mediante los cuales se dan indicadores de daño que se pueden considerar como una medida representativa de la degradación estructural, tanto a nivel de cada elemento, como a nivel de toda la estructura.

- *Daño no estructural*: ocurre en los elementos que no forman parte del sistema resistente de la estructura, que incluyen por ejemplo, daño arquitectónico, daño en los sistemas eléctricos, sanitarios y del contenido de la estructura. Durante los terremotos Loma Prieta en 1989, Northridge en 1994 y Kobe en 1995, una gran cantidad de edificios diseñados de acuerdo con las normativas sismo-resistentes vigentes para esa época, se comportaron satisfactoriamente desde el punto de vista estructural, pero provocaron pérdidas de cerca de 20 billones de dólares, por daños en elementos no estructurales (Terán, 2002), mostrando la incapacidad de limitar las pérdidas de tipo económico.

2.1.4 MITIGACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO

Por Mitigación del Riesgo Sísmico se entiende cualquier acción preventiva que se toma antes de la ocurrencia de un fenómeno natural destructivo intentando reducir sus consecuencias. Es decir, son todas las medidas tomadas para incrementar la resistencia y mejorar el comportamiento de los edificios para la seguridad de las personas y para la reducción de las pérdidas económicas y su impacto social (Bonnet Díaz, 2003).

Como se estudió anteriormente, el cálculo del riesgo sísmico depende tanto de la peligrosidad sísmica del sitio como de la vulnerabilidad sísmica de las estructuras. Para que exista riesgo sísmico en un lugar, ambos conceptos deben producirse y existir respectivamente.

Matemáticamente se desarrolló un marco conceptual para relacionar estos parámetros (Barbat, 1998), definiendo primero un Riesgo Sísmico Específico, S , representado como la convolución, entre las probabilidades de ocurrencia de todas las intensidades posibles de los terremotos ó peligrosidad sísmica, H , y la vulnerabilidad sísmica de las estructuras, V , esto es

$$S = H \otimes V \quad (2.1)$$

El riesgo sísmico, R , se obtiene mediante la convolución entre el valor del Riesgo Sísmico Específico, S , y el valor económico de los elementos en riesgo, E ,

$$R = S \otimes E \quad (2.2)$$

Evidentemente se observa que la peligrosidad sísmica, H , no se puede modificar ya que es un factor que depende de la naturaleza. Sin embargo, sí se puede decidir edificar las estructuras en zonas lo suficientemente alejadas de las fallas, de rellenos, de zonas sismogénicas en general y de lugares de posibles asentamientos, deslizamientos, avalanchas o de un alto potencial de licuación y, de ser necesario, se estudiaría la posibilidad de utilizar técnicas de mejoramiento de las condiciones del suelo, siempre buscando disminuir la posible amplificación de la acción del terremoto.

En cuanto a la vulnerabilidad sísmica de las estructuras, como se ha visto anteriormente, es un factor que se encuentra más al alcance del hombre, ya que corresponde a la calidad estructural de los edificios y se puede modificar utilizando algún método de refuerzo o cambio de uso del edificio, entre otras acciones y, en el caso de edificios nuevos, aplicando correctamente las normas sismorresistentes y utilizando materiales de buena calidad. Para el caso de los edificios construidos, se necesita realizar un estudio de costo-beneficio, para decidir la factibilidad de su reforzamiento, readecuación, cambio de uso o destino, mejoramiento o demolición futura.

2.2 MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD PARA EDIFICACIONES

El resultado de un estudio de vulnerabilidad sísmica está condicionado a la forma de cómo describe el daño y el movimiento sísmico. La relación entre estos parámetros suele formularse discretamente, mediante matrices, o de manera continua, a través de funciones o curvas de fragilidad, que tienen un carácter regional, por lo que es necesario propiciar el desarrollo de funciones propias que reflejen los aspectos constructivos y culturales representativos de cada región. Estas funciones pueden obtenerse analíticamente, simulando la respuesta sísmica de estructuras de una misma tipología definiendo la llamada *vulnerabilidad calculada*, o bien, de la observación de daños causadas sobre edificaciones perteneciente a zonas afectadas por terremotos, cuyo tratamiento estadístico basado en aspectos empíricos y subjetivos definen la llamada *vulnerabilidad observada* (Barbat, 1998).

Aunque no existe una metodología estándar para estimar la vulnerabilidad sísmica de las estructuras, se han propuesto diferentes métodos cuyo resultado pretende hacer una descripción global del daño que experimentaría una estructura de una tipología dada, sometida a la acción de un sismo determinado. Las técnicas de evaluación dependen principalmente de los siguientes factores:

- Naturaleza y objetivo del estudio
- Información disponible
- Características del elemento que se pretende estudiar
- Metodología de evaluación empleada
- Resultado esperado
- Destinatario de esta información

De manera general, las metodologías para estimar la vulnerabilidad de las estructuras se pueden agrupar en las siguientes (Yépez Moya, 1996):

- *Técnicas directas*: Estas predicen directamente el daño causado por un terremoto en una estructura. Los métodos más utilizados son los estadísticos y los mecánicos:

Las *técnicas estadísticas* se basan en la observación directa de los daños causados por sismos y la cuantificación estadística de estos. Esta técnica considera diferentes materiales y procedimientos constructivos utilizados. Se le

llama empírica cuando se requiere de una simple investigación de campo y estudios post-terremoto, y subjetiva cuando se incluye la experiencia y conocimientos de expertos en la evaluación de daños.

Las técnicas estadísticas son útiles también para la evaluación de la vulnerabilidad de edificios a gran escala o de toda una región. Para la recopilación de datos de campo se utilizan diversos tipos de formularios de levantamientos.

Las *técnicas mecánicas* emplean la cuantificación del grado de daño ocasionado por un sismo eventual mediante modelos matemáticos o mecánicos que simulen el efecto del terremoto, llamándose por esto estudios de vulnerabilidad calculada o vulnerabilidad teórica. Una importante ventaja de éste método radica en que puede ser la única alternativa para predecir el comportamiento sísmico de las estructuras en zonas de baja sismicidad y donde las fuentes de datos acerca de daños provocados por un mismo sismo en diferentes tipologías de estructuras son escasas, incompletas o inexistentes.

- *Técnicas indirectas*: Estas evalúan un índice de vulnerabilidad que es un índice de la calidad estructural del edificio ante cargas sísmicas, y no el daño directamente de los edificios. Luego de esta evaluación, se relacionan los índices de vulnerabilidad con los daños, normalmente con estudios post-terremoto y estudios estadísticos.

- *Técnicas convencionales*: Estas son aplicables únicamente a estudios de vulnerabilidad a gran escala, ya que introducen un índice de calidad independiente de la predicción del daño, el cual se compara con otros edificios en la misma área de estudio. Los índices dan una medida relativa de la vulnerabilidad en un área determinada, pero son difíciles de obtener cuando se manejan edificios de diferentes tipologías estructurales. Básicamente existen dos métodos, el primero califica las diferentes características físicas de las estructuras; los segundos se basan en los criterios de las normas sismo-resistentes evaluando la demanda/capacidad de los edificios de manera simplificada. El segundo tipo estima con muchas simplificaciones las demandas globales de los edificios independientemente de las capacidades, lo cual es fuertemente cuestionado por algunos investigadores.

- *Técnicas híbridas*: Estas combinan diferentes elementos de las diferentes técnicas dependiendo el tipo de problema que se presente. De este tipo es el procedimiento que se propone en este trabajo.

Las técnicas de evaluación de la vulnerabilidad pueden clasificarse además, en función de los pasos fundamentales que caracterizan el camino metodológico como sigue (Gómez Soberón, 2002):

- Según los *datos de entrada* que están disponibles para desarrollar el problema, como datos de daños pasados, geométricos y cualitativos; mecánicos, de sismos, geológicos y geotécnicos.

- Según el *método o la técnica* empleada para determinar el grado de vulnerabilidad, ya sean estadísticos, analíticos o basado en juicio de expertos.

- Según los *datos de salida* o tipo de datos a obtener, pudiendo ser la vulnerabilidad absoluta, representada por funciones de probabilidad como curvas de fragilidad o la vulnerabilidad relativa, que emplea evaluaciones empíricas o experimentales en las que no indica una correlación entre el daño y el tamaño del sismo.

La aplicación exhaustiva de cada una de las metodologías citadas en este capítulo, puede originar discrepancias en los resultados, y en algunos casos puede dar origen a conclusiones erradas. En este sentido, para el análisis de la vulnerabilidad sísmica se recomienda combinar los métodos analíticos y empíricos, con algún método o técnica experimental que permita incrementar la confiabilidad del análisis de vulnerabilidad (Safina Melone, 2002).

2.3 METODOLOGÍA DESARROLLADA EN LA UAM

La metodología que se utiliza en este trabajo, ha sido desarrollada en la Universidad Autónoma Metropolitana por Arellano Méndez *et al.*, (2003), la cual evalúa la vulnerabilidad y el grado de daño en estructuras. Este método permite conocer aquellas estructuras con grados de daño desfavorables y con las clases de vulnerabilidad más bajas, así como el análisis del riesgo sísmico. Este método es descrito con detalle en las próximas secciones.

2.3.1.- CENSO Y MANEJO DE LOS DATOS

Para una determinada zona de estudio, se realiza un censo por personal previamente capacitado, el cual llenará el formulario que es incluido en el apéndice I. Este formulario permite recabar información de las construcciones de manera clara, sencilla y rápida. Incluye además, las características más relevantes de las estructuras divididas en cuatro categorías principales: *ubicación detallada*, *información estructural*, *seguridad de elementos no estructurales* e *información fotográfica*. Específicamente se consideran:

- La *Ubicación detallada* incluye los siguientes datos: calle, número, colonia, código postal y delegación.
- La *información estructural* incluye los datos más relevantes de una estructura como año de construcción, número de niveles, existencia de sótanos, uso de la estructura, tipo de estructura, estructuración, sistema de piso, cimentación, colindancias, reparaciones anteriores, regularidad en planta, regularidad en elevación, ubicación dentro de la manzana y un apartado para observaciones en el que se puede incluir información acerca de la presencia de problemas estructurales visibles tales como: grietas, hundimientos, desplomes, falta de mantenimiento, etc.
- La información sobre *seguridad de elementos no estructurales*, incluye parámetros ubicados en el exterior de la edificación como vidrios, torres de anuncios, acabados de fachadas, balcones, pretilas, tanques elevados; y elementos ubicados en el interior como muros divisorios, cielos rasos, lámparas, escaleras, elevadores e instalaciones.

- La *información fotográfica* es determinante, ya que permite mostrar en una imagen, detalles de la estructura que serían difíciles de describir en el formulario del censo, y muestra la gravedad de los problemas estructurales.

Con la información recopilada, se elabora una base de datos digital que es útil para poder agrupar, resumir, correlacionar y graficar datos; así como para definir aspectos como curvas de fragilidad observada o condiciones de daño.

2.3.2.-CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE LAS EDIFICACIONES CENSADAS

Las edificaciones censadas se agrupan conforme las siguientes variables:

- Uso principal
- Tipo de material
- Tipología estructural
- Sistema de piso
- Tipo de cimentación

Esta clasificación permite conocer los valores que integran a cada una de las variables y que influirán en la determinación de la vulnerabilidad de cada estructura.

2.3.3.-ASIGNACIÓN DE GRADO DE DAÑO Y CLASE DE VULNERABILIDAD

Los procedimientos de estimación de la vulnerabilidad y determinación del grado de daño en una estructura, está relacionada con la Escala Macrosísmica Europea, EMS-98, (Grünthal, 1998), la cual está basada en doce grados de intensidad e introduce una *tabla de vulnerabilidades y grados de daño*, que se detalla en los apartados siguientes.

2.3.4.- ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

La evaluación de la vulnerabilidad se realiza de acuerdo a las Tabla 2.1, en la que se tienen 5 clases de vulnerabilidad en forma ascendente. A una estructura le corresponde una vulnerabilidad clase A si es muy vulnerable, o F si es casi nula.

La asignación del grado de vulnerabilidad a cada estructura se realiza empleando la tabla de diferenciación de los tipos de estructuras dentro de las clases de vulnerabilidad anteriores, según la clasificación usada en la Escala Macrosísmica Europea (Figura 2.2). En esta tabla se observa, por ejemplo, que a una estructura de mampostería reforzada o confinada le corresponde la clase de vulnerabilidad más probable C, con un rango probable de vulnerabilidad D y una vulnerabilidad excepcional B. Estos rangos dependen además, de las diferentes características de la estructura como su

estructuración, fecha de construcción o tipo de cimentación, los cuales son conocidos mediante el levantamiento realizado.

Tabla 2.1. Clases de vulnerabilidad según la Escala Macrosísmica Europea. (Arellano Méndez et al., 2003)

Clase de vulnerabilidad	Descripción
A	Muy alta
B	Alta
C	Media
D	Baja
E	Muy baja
F	Casi nula

Tipo de estructura		Clase de vulnerabilidad					
		A	B	C	D	E	F
MAMPOSTERÍA	Cantos rodados o piedra suelta						
	Adobe (tabique de tierra)						
	Sillería (piedra masiva)						
	No reforzada, con unidades de piedra manufacturada (ladrillo o de bloques sin refuerzo)						
	No reforzada, con losas de concreto reforzado						
	Reforzada o confinada						
CONCRETO REFORZADO	Marcos sin diseño sísmoresistente DSR						
	Muros sin diseño sísmoresistente DSR						
	Muros con moderado nivel de diseño sísmoresistente DSR						
	Muros con alto nivel de diseño sísmoresistente DSR						
	Marcos con diseño sísmoresistente DSR						
	Marcos con moderado diseño sísmoresistente DSR						
	Marcos con alto nivel de diseño sísmoresistente DSR						
ACERO	Estructuras de acero						
MADERA	Estructuras de madera						

Clase de vulnerabilidad más probable.
 Rango más probable.
 Rango menos probable, casos excepcionales.

Figura 2.2. Clases de vulnerabilidad para diferentes tipos de estructuras según la Escala Macrosísmica Europea. (G. Grünthal, 1998)

2.3.5.-ESTIMACIÓN DEL GRADO DE DAÑO

Para la asignación del daño observado durante el levantamiento, es empleada también la clasificación de daños de la EME, la cual muestra gráficamente los daños que se pueden observar en una estructura tanto de mampostería (Tabla 2.2), como de concreto (Tabla 2.3), correspondiendo un tipo de daño “Grado 1” a una estructura sin daños estructurales o daños ligeros, y un “Grado 5” para una edificación colapsada. El procedimiento de determinación de un grado de daño surge de manera natural al realizar el censo en el área de estudio que busca determinar cierta vulnerabilidad, aunque no evalúa los daños que se obtendrán al presentarse determinado evento sísmico futuro, los cuales resultan al realizar el estudio conjunto de la vulnerabilidad y el peligro sísmico de la zona.

Tabla 2.2. Daño en estructuras de mampostería (Grünthal, 1998)











	<p>Grado 1: Daños de despreciables a ligeros. (ningún daño estructural, daños no-estructurales ligeros) Grietas superficiales en muy pocos muros. Caída sólo de pequeños trozos de recubrimiento. Caída de piedras sueltas de las partes altas de los edificios en muy pocos casos.</p>
	<p>Grado 2: Daños moderados (daños estructurales ligeros, daños no-estructurales moderados) Grietas en muchos muros. Caída de trozos grandes de recubrimiento.</p>
	<p>Grado 3: Daños de importantes a graves (daños estructurales moderados, daños no-estructurales graves) Grietas grandes y generalizadas en la mayoría de los muros. Se sueltan tejas del tejado Fallas de elementos individuales no-estructurales (muros divisorios, hastiales y tejados).</p>
	<p>Grado 4: Daños muy graves (daños estructurales graves, daños no-estructurales muy graves) Se dañan seriamente los muros; falla estructural parcial de techos y losas.</p>
	<p>Grado 5: Destrucción (daños estructurales muy graves) Colapso total o casi total.</p>

Tabla 2.3. Daño en edificios de concreto armado. (Grünthal, 1998)

	Grado 1: Daños de despreciables a ligeros. (Ningún daño estructural, daños no estructurales ligeros) Grietas superficiales en muy pocos muros Caída sólo de pequeños trozos de recubrimiento Caída de piedras sueltas de las partes de los edificios en muy pocos casos.
	Grado 2: Daños moderados (Daños estructurales ligeros, daños no estructurales moderados) Grietas en muchos muros Caída de trozos grandes de recubrimiento
	Grado 3: Daños importantes a graves (daños estructurales moderados, daños no estructurales graves) Grietas grandes y generalizadas en la mayoría de los muros Se sueltan tejas del tejado Fallas de elementos individuales no estructurales (muros divisorios y tejados)
	Grado 4: Daños muy graves (Daños estructurales graves, daños no estructurales muy graves) Se dañan seriamente los muros Falla estructural parcial de techos y losas.
	Grado 5: Destrucción (Daños estructurales muy graves) Colapso total o casi total

2.3.6.- GENERACIÓN DE MAPAS

Con la información obtenida pueden realizarse diversos mapas, por ejemplo en el método desarrollado se generan mapas que contienen tres niveles de información:

- tipo de estructuras
- clase de vulnerabilidad asignada, e
- información del grado de daño de las estructuras.

Estos mapas permiten mostrar la distribución espacial de las estructuras y advertir sobre las zonas más vulnerables o más dañadas que otras. Esta información junto con un estudio de peligro sísmico, logra generar nuevos mapas para cada diferente escenario de riesgo, pudiendo establecerse así, estrategias de emergencias en zonas específicas del lugar en estudio.

2.3.7.- EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO

El riesgo sísmico se define utilizando la tabla que se presenta en la Figura 2.3, propuesta por Münchener y adaptada por Arellano Méndez *et al.* (2002). En esta tabla se relaciona el daño que sufrirán las estructuras y la cantidad de edificaciones que

pueden sufrir estos daños, con la aceleración máxima del terreno y su intensidad de acuerdo a la Escala Macrosísmica Europea.

EMS	Definición	Daño												Acel. %g
		A		B		C		D		E		F		
		Grado	%	Grado	%	Grado	%	Grado	%	Grado	%	Grado	%	
I	Nosentido													0.0
II	Apenas sentido													0.0 < 0.15
III	Débil													0.15-0.2
IV	Ampliamente observado													0.5-2
V	Fuerte	1	0-15	1	0-15									2-5
VI	Levemente Dañino	1	15-55	1	15-55	1	0-15							5-10
		2	0-15	2	0-15									
VII	Dañino	3	15-55	2	15-55	2	0-15	1	0-15					10-20
		4	0-15	3	0-15									
VIII	Gravemente Dañino	4	15-55	3	15-55	2	15-55	2	0-15					20-50
		5	0-15	4	0-15	3	0-15							
IX	Destructor	5	15-55	4	15-55	3	15-55	2	15-55	2	0-15			50-80
				5	0-15	4	0-15	3	0-15					
X	Muy destructor	5	55-100	5	15-55	4	15-55	3	15-55	2	15-55	2	0-15	80-130
				5	0-15	4	0-15	3	0-15					
XI	Devastador			5	55-100	4	55-100	4	15-55	3	15-55	2	15-55	150-200
				5	15-55	5	0-15	4	0-15	1	0-15			
XII	Completamente Destr. Devastador	100		Destr.	100	Destr.	100	Destr	55-100	Destr	55-100	Destr	55-100	> 200

Figura 2.3. Relación entre intensidad, aceleración máxima esperada y daño. (Arellano Méndez et al., 2002)

Esta tabla está relacionada a la Escala Macrosísmica Europea (EMS-98) que se muestra en el Apéndice II, la cual asigna intensidades entre I y XII, en donde una intensidad de IV o menor corresponden a daño estructural leve y una intensidad de X en adelante corresponde a una destrucción generalizada. En la Figura 2.3 se observa que las cantidades de estructuras que sufrirán daños se asignan con valores en tres intervalos de porcentajes, descritos por:

0 – 15% algunas

15 y 55% muchas

55 y 100% la mayoría

TÉCNICAS DE INFERENCIA ESTADÍSTICA

Este trabajo describe un procedimiento económico y confiable para determinar el mapa de los índices de vulnerabilidad de un conjunto grande de estructuras en la zona deseada, considerando la necesidad de disminuir costos y tiempo en la evaluación de dicha vulnerabilidad, sin disminuir la confiabilidad de los resultados. El procedimiento se basa en el estudio de una muestra representativa de la población objetivo, obtenida mediante encuestas aplicadas a dicha zona y para la cual se evalúan los respectivos niveles de vulnerabilidad; estimando posteriormente los valores de la población mediante procedimientos de inferencia estadística. Por esto, en el presente capítulo se presenta el planteamiento teórico de la inferencia estadística.

La inferencia estadística consiste en métodos con los cuales se pueden realizar generalizaciones acerca de una población (Mendenhall *et al.*, 1986), estudiando algunos valores promedio del conjunto total de observaciones, el cual se denomina *población*. Estas generalizaciones parten de considerar que el acceso al total de información para cada uno de los objetos de la población no es posible, por lo que se emplean *muestras* que son subconjuntos de la población original, con menos elementos, pero que la representan del modo más fiel posible.

Para que un método de inferencia estadística proporcione buenos resultados debe de:

- Basarse en una técnica estadístico-matemática adecuada al problema y suficientemente validada
- Utilizar una muestra que realmente sea representativa de la población y de un tamaño suficientemente grande.

Existen numerosas técnicas para seleccionar muestras, las cuales se explicarán en el apartado siguiente. La selección de la muestra es de importancia vital en un estudio estadístico, porque las conclusiones que se obtienen dependen esencialmente de las muestras analizadas. La cantidad de elementos que integran la muestra, o *tamaño de la muestra*, depende de múltiples factores como el dinero y el tiempo disponibles para el estudio, la importancia del tema analizado, la confiabilidad que se espera de los resultados o las características propias del fenómeno analizado.

A partir de la muestra seleccionada se realizan algunos cálculos y se estiman los valores de los parámetros de la población tales como la media, la varianza, la desviación estándar, una proporción, o la forma de la distribución. Existen dos formas de estimar parámetros: la estimación puntual y la estimación por intervalo. En la primera se busca, con base en los datos muestrales, un único valor estimado para el parámetro, partiendo de un modelo estadístico para dicha distribución de la característica de interés. Para la estimación por intervalo se determina un intervalo de confianza dentro del cual se encuentra el valor del parámetro, con una probabilidad determinada.

Para estimar, se parte del supuesto de que la característica de la población que se desea estudiar, sigue una distribución descrita mediante un modelo probabilístico. De la muestra se estiman los valores de los parámetros en la población mediante un valor fijo o estimador puntual o mediante un intervalo de posibles valores.

Los estimadores puntuales más comunes son:

- La media de la muestra para estimar el valor promedio en la población
- La proporción en la muestra para estimar la proporción en la población
- La desviación estándar de la muestra como estimación de la desviación estándar de la población

3.1.- DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA

Este procedimiento determina el tamaño adecuado de la muestra, evitando así costos innecesarios por el manejo de muestras demasiado grandes que probablemente no aporten más exactitud que una de menor tamaño. Por otro lado, si una muestra es muy pequeña, es posible obtener resultados poco confiables, debido a que no representaría las características de la población.

En general, el tamaño adecuado de la muestra depende del grado de confianza esperado, esto es, de que el error de la estimación no exceda un cierto valor del máximo error permisible. Por ejemplo, un nivel del 95% de confianza indica que si extraemos un número grande de muestras de una población y construimos un intervalo de confianza mediante este procedimiento, esperamos que el 95% de los elementos resultantes incluyan al valor verdadero del parámetro de la población (Walpole y Myers, 1992).

La ecuación que relaciona la precisión y el tamaño de la muestra proviene de los intervalos de confianza. Así, se define el tamaño de una muestra aleatoria simple, n_0 , mediante

$$n_o = \frac{0.25 \left(Z_{\alpha/2} \right)^2}{e^2} \quad (3.1)$$

donde e es el margen de error que comúnmente se toma como $e = 0.05$ para encuestas en donde se estima una proporción y $Z_{\alpha/2}$ es el valor de la distribución normal correspondiente al nivel de confianza $(1 - \alpha) \times 100\%$.

3.2.- MUESTREO

Como se mencionó anteriormente, el objetivo de una muestra consiste en estimar una o más características de una población, a fin de inferir resultados confiables para la población total. Una muestra, debe reflejar cada una de las características de toda la población, con menos mediciones sobre las unidades de observación (para este caso las estructuras) que las que se necesitarían si se estudiara a toda la población. Entonces, el uso de muestras ofrece reducciones en la cantidad de entrevistadores, lo que a su vez se refleja en la disminución de costos monetarios, así como en la reducción del tiempo de aplicación de encuestas, sin que con esto, la muestra deje de representar adecuadamente a la población. Una muestra tendrá mayores posibilidades de ser representativa si se elige de manera aleatoria, esto es, no imprimiendo sesgos ni tendencias predeterminadas al seleccionar cada elemento en la muestra.

Para obtener un muestreo probabilístico, es necesario determinar el tipo de *marco de muestreo*, que es la lista de las unidades de muestreo, que en este trabajo corresponde a la lista de estructuras o bien la lista de manzanas de la población en análisis.

3.2.1.- TIPOS DE MUESTREO PROBABILÍSTICO

Los tipos de muestreo planteados en este trabajo corresponden a los tipos básicos de muestreo en la mayoría de análisis de encuestas por muestreo. Estos son: muestreo aleatorio simple, muestreo por conglomerados y muestreo aleatorio con selección sistemática, cuyas características y procedimientos de selección son los siguientes (Lohr, 2000):

- *Muestra aleatoria simple*: Es la forma más sencilla de realizar un muestreo probabilístico. Se obtiene una muestra de este tipo, de tamaño n_0 , cuando cualquier subconjunto posible de n unidades en la población con N elementos en total, tiene la misma probabilidad de ser seleccionada para componer la muestra. Para extraer una muestra de este tipo, se necesita una lista de todas las unidades de observación que pertenecen a la población, de un total de N elementos.

La obtención de una muestra aleatoria consiste en que una vez determinado el tamaño de la muestra a determinado nivel de confianza, n_0 , se generan esa cantidad de números aleatorios entre 1 y N . En la Figura 3.1 se indica un ejemplo del esquema del muestreo aleatorio simple, en una zona de 25 manzanas con cuatro estructuras cada una. Este tipo de muestreo presenta el inconveniente de llegar a tener una mala distribución de las estructuras muestreadas, es decir, es posible concentrar en una sola zona una cantidad muy grande de estructuras

como se puede ver en la Figura 3.1, con lo que se obtendría una muestra poco representativa de la población.

18	17	14	13	10	9	6	5	2	1
19	20	15	16	11	12	7	8	3	4
22	21	26	25	30	29	34	33	38	37
23	24	27	28	31	32	35	36	39	40
58	57	54	53	50	49	46	45	42	41
59	60	55	56	51	52	47	48	43	44
62	61	66	65	70	69	74	73	78	77
63	64	67	68	71	72	75	76	79	80
98	97	94	93	90	89	86	85	82	81
99	100	95	96	91	92	87	88	83	84

Figura 3.1. Muestreo aleatorio simple en población de 25 manzanas con cuatro estructuras cada una.

- *Muestreo aleatorio con selección sistemática*: Este tipo de muestreo estadístico se utiliza como sustituto del muestreo aleatorio simple, cuando el marco de muestreo de la población tiene un orden aleatorio o está mezclado, es decir, que ningún elemento se presenta con algún orden periódico o cíclico, lo que provocaría tener una muestra que contenga solamente esa unidad que se repite.

Este tipo de muestreo proporciona una buena distribución geográfica sobre la población de las estructuras elegidas, tal y como se observa en el ejemplo de la Figura 3.2 en donde se seleccionan aleatoriamente y de manera sistemática, 24 estructuras de un total de 100.

18	17	14	13	10	9	6	5	2	1
19	20	15	16	11	12	7	8	3	4
22	21	26	25	30	29	34	33	38	37
23	24	27	28	31	32	35	36	39	40
58	57	54	53	50	49	46	45	42	41
59	60	55	56	51	52	47	48	43	44
62	61	66	65	70	69	74	73	78	77
63	64	67	68	71	72	75	76	79	80
98	97	94	93	90	89	86	85	82	81
99	100	95	96	91	92	87	88	83	84

Figura 3.2. Muestreo aleatorio con selección sistemática.

El proceso de selección sistemática se realiza una vez determinado el tamaño de la muestra, n_0 . Se obtiene la cantidad

$$k = N/n_0 \quad (3.2)$$

de la que se toman dos cifras decimales significativas, que constituye la fracción de muestreo; posteriormente se elige un número aleatorio R entre 0.01 y k , cuya parte entera es la primera estructura de la muestra. Este procedimiento consiste en elegir las estructuras numeradas como $R, R + k, R + 2k, \dots, R + (n - 1)k$ con lo que se obtiene el total de estructuras en la muestra.

- *Muestra por conglomerados*: En un muestreo de este tipo, las unidades de muestreo son los conglomerados y los elementos observados constituyen las unidades secundarias dentro de los cúmulos (Lohr, 2000), en este caso las manzanas corresponden a los conglomerados y las unidades secundarias las estructuras.

Para obtener una muestra de este tipo, se utiliza el procedimiento de selección sistemática, calculando la fracción de muestreo, k , considerando que el marco de muestreo es la lista de manzanas de un total de Nm , por lo que la fracción de muestreo se obtiene con

$$k = Nm/n_0 \quad (3.3)$$

donde n_0 es el tamaño de muestra obtenido para determinado nivel de confianza. El procedimiento de selección de conglomerados continúa, con el procedimiento de selección sistemática descrito en el muestreo anterior. La Figura 3.3 presenta un ejemplo de los conglomerados elegidos para formar una muestra en una población de 25 manzanas seleccionadas de manera sistemática, en la cual se puede notar que la selección está distribuida sobre toda la población, con la cual se obtendrá una muestra que represente a la población.

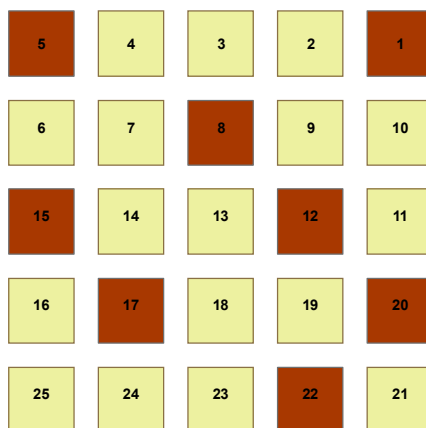


Figura 3.3. Muestreo por conglomerados en una población de 25 manzanas.

3.3.- PRUEBAS DE HIPÓTESIS

Con frecuencia, el objetivo de una prueba estadística es verificar una hipótesis con respecto a los valores de uno o más parámetros poblacionales. En general se plantea una hipótesis de investigación acerca del parámetro que queremos apoyar. En la metodología que aquí se presenta, se plantea la hipótesis de que las proporciones de las diferentes clases de vulnerabilidad en la población, son iguales a las correspondientes en la muestra.

Una prueba de hipótesis se compone de los siguientes elementos esenciales:

- 1.- La hipótesis nula, H_0
- 2.- La hipótesis alternativa, H_a
- 3.- El estadístico de prueba
- 4.- La región de rechazo

La hipótesis nula H_0 es la hipótesis que se desea probar, la hipótesis alternativa denotada por H_a , es la hipótesis que debe aceptarse en el caso de rechazar H_0 . Las partes funcionales de una prueba estadística son el estadístico de prueba y la región de rechazo asociada. El estadístico de prueba es una función de las mediciones muestrales en el cuál se fundamenta la decisión estadística. La región de rechazo para pruebas basadas en la distribución normal, se delimita mediante los valores de $Z_{\alpha/2}$ para los cuales se rechaza o se acepta una hipótesis. En la Figura 3.4 se presenta un ejemplo de valores límite $Z_{\alpha/2}$, si en una muestra el valor calculado del estadístico de la prueba se localiza en la región de rechazo, se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis alternativa H_a .

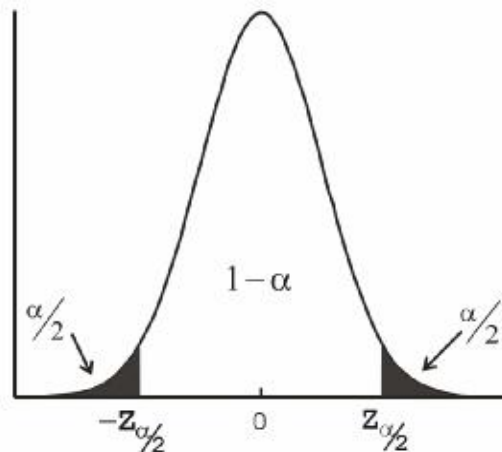


Figura 3.4. Ejemplo de región de aceptación y rechazo.

Para cualquier región de rechazo, se pueden cometer dos tipos de errores al llegar a una decisión. Podemos decidir a favor de H_a siendo H_0 verdadera, llamando a este error tipo I, o podemos decidir a favor de H_0 siendo H_a verdadera, llamado error tipo II.

Entonces por definición,

$$\alpha = P(\text{error tipo I}) = P(\text{de rechazar } H_0 \text{ cuando es verdadera})$$

$$\alpha = P\left(\begin{array}{l} \text{de que el valor del estadístico de la prueba se localiza} \\ \text{en la región de rechazo cuando } H_0 \text{ es verdadera} \end{array}\right)$$

$$\beta = P(\text{error tipo II}) = P(\text{de aceptar } H_0 \text{ cuando } H_a \text{ es verdadera})$$

$$\beta = P\left(\begin{array}{l} \text{de que el valor del estadístico de la prueba no esté} \\ \text{en la región de rechazo siendo } H_a \text{ verdadera} \end{array}\right)$$

La probabilidad de un error tipo I, se denomina nivel de significancia o α , para el que se recomiendan valores pequeños, aunque la selección del valor de α , es arbitraria.

Una vez elegido el estadístico de la prueba que se va a utilizar, es posible determinar el valor p , es decir, el nivel de significación alcanzado de una prueba. Este valor es un estadístico que representa el valor mínimo de α para el cual se rechaza la hipótesis nula. Si la selección de α en una prueba es mayor que o igual al valor p , se rechaza la hipótesis nula; por otro lado, si α es menor que el valor p , no se puede rechazar la hipótesis nula.

3.4.- PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LA DIFERENCIA ENTRE DOS PROPORCIONES

En este trabajo, se pretende verificar la calidad de las estimaciones de las proporciones de cada clase de vulnerabilidad obtenidas mediante los diferentes esquemas de muestreo, en relación a la población. Lo anterior se logra mediante el procedimiento de pruebas de hipótesis para la diferencia de proporciones.

Las regiones críticas de la prueba se establecen utilizando los puntos límite de la curva normal estándar, según se presentó en la Figura 3.4, de la cual se deriva el valor del estadístico de prueba Z . La hipótesis alternativa, H_a , que indica que las proporciones son diferentes, $p_1 \neq p_2$, se establece utilizando puntos críticos de la curva normal estándar de manera que para cierto nivel de significancia α , se acepta la hipótesis H_a si $Z < -Z_{\alpha/2}$ o $Z > Z_{\alpha/2}$, y en caso contrario se rechaza y se acepta que las proporciones son iguales, $p_1 = p_2$, lo que equivale a aceptar la hipótesis nula H_0 de que $p_1 - p_2 = 0$.

3.5.- PRUEBA DE INDEPENDENCIA

En el uso de muestras, es posible clasificar a cada elemento de ella de acuerdo a dos características o variables, es decir un elemento muestreado puede tener la característica X y la característica Y . La prueba de independencia permite determinar la asociación de estas dos variables, para lo que se utilizan las *tablas de contingencia* que están referidas a esas dos características (Devore, 2001). Por ejemplo, en la tabla 3.1 se presenta una tabla de contingencia para dos variables, X y Y , con r , renglones y c , columnas, en donde en cada celda se registran las observaciones que presentan una característica de la variable X y de Y , representadas por $o_{X,Y}$. La tabla 3.1, es conocida también como tabla $r \times c$, en la cual los totales de renglones y columnas se les denominan frecuencias marginales (Bonilla, 1991).

Tabla 3.1. Tabla de contingencia " $r \times c$ "

X	Y					Total
	y ₁	y ₂	y ₃	...	y _c	
x ₁	$o_{1,1}$	$n_{1,2}$			$n_{1,c}$	$\sum_{j=1}^c n_{1,j}$
x ₂						
x ₃						
...						
x _r	$n_{r,1}$				$n_{r,c}$	
Total	$\sum_{i=1}^r n_{i,1}$					$\sum_{i,j=1}^{r,c} n_{i,j}$

Para la Tabla 3.1, se plantean la hipótesis nula H_0 : r y c son independientes, y la hipótesis alternativa H_a r y c son dependientes, entre los criterios de filas y columnas. La decisión de rechazar o aceptar la hipótesis nula, se base en qué tan bien se ajustan las frecuencias observadas, o_i , en cada celda de la tabla y las frecuencias que se esperarían, e_i , para cada celda bajo la suposición de que H_0 es verdadera. La regla general para obtener la frecuencia esperada, e_i , de cualquier celda la proporciona la siguiente fórmula:

$$frecuencia_esperada = \frac{(total_de_la_columna) \times (total_del_renglón)}{gran_total} \quad (3.4)$$

La prueba de bondad de ajuste entre frecuencias observadas, o_i , y esperadas e_i , se sustenta en la cantidad:

$$\chi^2 = \sum \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} \quad (3.5)$$

donde χ^2 es el valor de una variable aleatoria cuya distribución muestral se aproxima muy cercanamente a una distribución *ji cuadrado*, y la sumatoria se extiende a todas las celdas en la tabla de contingencia " $r \times c$ ".

Se calcula además, el valor de *ji cuadrado* con ν grados de libertad para el nivel de significancia, α ; pudiendo emplearse tablas de valores de la distribución *ji cuadrado* contenidas en libros de estadística básica. El número de grados de libertad, ν , se obtiene con la siguiente ecuación

$$\nu = (r - 1)(c - 1) \quad (3.6)$$

donde r es el número de renglones en la tabla de contingencia y c es el número de columnas.

El criterio de decisión para aceptar o rechazar la hipótesis nula es el siguiente:

Si $\chi^2 > \chi^2_{\alpha}$ con $\nu=(r-1)(c-1)$ grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula H_0 , de independencia en el nivel de significancia α ; de lo contrario se acepta la hipótesis nula, H_0 .

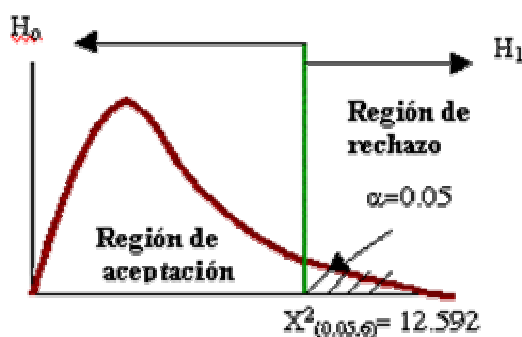


Figura 3.5. Prueba de hipótesis de independencia entre dos variables.

La Figura 3.5, presenta el criterio de decisión para un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ y 6 grados de libertad. A la izquierda de la línea verde se encuentra la región para la cual se acepta la hipótesis alternativa, H_a , y a la izquierda la región en donde se acepta la hipótesis nula, H_0 de que las observaciones registradas en cada renglón, r , y cada columna, c , son independientes.

Estas pruebas de independencia, permitirán conocer en este trabajo, la asociación de las diferentes variables de la muestra, en relación a su clase de vulnerabilidad.

3.6.- ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Las herramientas de estadística descriptiva empleadas en este trabajo, pueden consultarse en cualquier libro básico de estadística. Se presenta aquí, solamente un resumen de las técnicas que describen a un conjunto de datos, considerando que las variables utilizadas son del tipo *categorías*.

3.6.1.- TABLAS DE FRECUENCIA.

Se utilizan cuando un conjunto de datos de tamaño n , tiene un número relativamente pequeño de valores distintos o categorías. Con estas tablas se conoce la frecuencia del total de casos que “caen” en cada categoría. En la Tabla 3.2 se muestra un ejemplo en donde la columna “frecuencia” indica la cantidad de observaciones que se registran para cada clase de vulnerabilidad.

La frecuencia relativa es calculada de un conjunto de datos consistente en n valores. Si F es la frecuencia de un valor particular, entonces la relación F/n se llama frecuencia relativa. Esto es, la frecuencia relativa del valor de un dato es la proporción de los datos que tienen ese valor o están en esa categoría. La Tabla 3.2 muestra en la columna “Frecuencia relativa”, las frecuencias relativas al total, n . En la última columna, se tienen las frecuencias relativas acumuladas.

Tabla 3.2. Frecuencia y frecuencia relativa acumulada

CLASE	FRECUENCIA	FRECUENCIA RELATIVA	FRECUENCIA RELATIVA ACUMULADA
A	O_1	$F_1 = \frac{O_1}{n}$	F_1
B	O_2	$F_2 = \frac{O_2}{n}$	$F_1 + F_2$
C	O_3	$F_3 = \frac{O_3}{n}$	$F_1 + F_2 + F_3$
D	O_4	$F_4 = \frac{O_4}{n}$...
E	O_5	$F_5 = \frac{O_5}{n}$...
F	O_6	$F_6 = \frac{O_6}{n}$	$F_1 + \dots + F_6$

3.6.2.- PERCENTILES MUESTRALES

Este tipo de estadísticos se utilizan para describir la tendencia de un conjunto de datos de n valores numéricos, x_1, x_2, \dots, x_n , por ejemplo, la *media* y la *moda*, son medidas de tendencia central. Estas técnicas serán utilizadas como parte de la metodología propuesta en el capítulo seis.

Se considera que el $100p$ percentil muestral de un conjunto de datos es aquel valor tal que $100p$ por ciento de los valores de los datos son menores o iguales a él, y en donde $0 \leq p \leq 1$. Además, el $100(1 - p)$ por ciento son mayores o iguales a él.

Al 25 percentil muestral se le denomina *primer cuartil*, al 50 percentil muestral se le llama *mediana muestral* o *segundo cuartil*, al 75 percentil muestral se nombra como *tercer cuartil* (Ross, 2002). Entonces, el np percentil muestral de un conjunto de datos de tamaño n , es tal que:

- 1.- Al menos np de los valores son menores o iguales a él, y
- 2.- Al menos $n(1-p)$ son mayores o iguales a él.

EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN EN LA COLONIA ROMA, CIUDAD DE MÉXICO

La zona estudiada en la Colonia Roma de la Ciudad de México presentó un gran número de estructuras dañadas en los sismos de septiembre de 1985, motivo por el cual ha sido de interés definir las condiciones actuales de los inmuebles que la componen, y de esta forma implementar programas para la disminución del riesgo sísmico. El área analizada en esta zona, fue estudiada por Arellano Méndez *et al.*, (2003), con la metodología presentada en el apartado 2.3. Este trabajo presenta la posibilidad de verificar la metodología que se propone, ya que se cuenta con toda la información de la población, como se describirá en las secciones 4.1 al 4.5 de este capítulo.

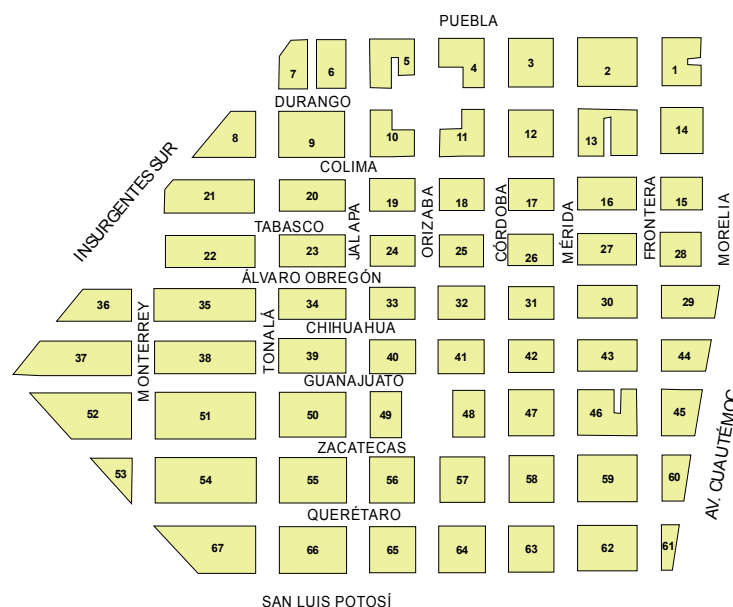


Figura 4.1. Zona de estudio en Colonia Roma

Arellano Méndez *et al.*, (2003), realizaron un censo en la zona presentada en la Figura 4.1, que está limitada por las calles Puebla, San Luis Potosí, Insurgentes Sur, Avenida

Yucatán y Avenida Cuauhtémoc. El formato de levantamiento de la información pertinente se presenta en el Apéndice I.

4.1.-MANEJO DE LOS DATOS

La información obtenida del censo fue capturada en una base de datos operada por un programa de computadora. Se presenta en la Figura 4.2, un ejemplo del formulario desarrollado por Juárez García *et al.*, (2004) para el manejo de la información.

VULNERABILIDAD SISMICA COLONIA ROMA

EXPERIENTE 01

CALLE Y NUMERO Córdoba # 84

ENTRE Colima

Y Durango MANZANA Mz-5

COLONIA Roma

DELEGACION Cuauhtémoc

CP 06700

FOTOGRAFIA

UBICACION Esquina

COLINDANCIAS Del. Depto / niveles separación, izq. Casa 3 niveles

EPOCA DE CONSTRUCCION Entre 1957 y 1985

NUMERO DE NIVELES 6

TIPO DE TERRENO Lacustre

NUMERO DE SUTANOS 0

REGULARIDAD EN PLANTA Intermedia

REGULARIDAD VERTICAL Buena

USO PRINCIPAL Oficinas Privadas

TIPO DE CIMENTACION Zapatas corridas

TIPO DE ESTRUCTURA Concreto Reforzado Colado en Lugar

ESTRUCTURACION Marcos de Concreto

SISTEMA DE PISO Losa Maciza con trabes

DAÑOS PREVIOS POR SISMO No

REPARACIONES ANTERIORES No se sabe

SEGURIDAD DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES Aceptable

CLASIFICACION DE ESTRUCTURA D (Concreto reforzado)

GRADO DE DAÑO 1

CLASE DE VULNERABILIDAD D

OBSERVACIONES GENERALES Sobre la calle de Córdoba el depto presenta un asentamiento considerable. Presenta grietas solo en entrada del depto.

Figura 4.2. Ejemplo de la información electrónica capturada para cada inmueble. (Juárez García *et al.*, 2004)

4.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTRUCTURAS CENSADAS EN LA COLONIA ROMA.

Una vez agrupadas las estructuras de acuerdo con el tipo de material de construcción (mampostería, concreto y acero), fueron identificadas las características de las estructuras que se presentan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Características estructurales. (Juárez García et al., 2004)

USO PRINCIPAL	MATERIAL DE LA ESTRUCTURA	TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL	SISTEMA DE PISO	TIPO DE CIMENTACIÓN
Casa Habitación	Acero	Marcos	L. Maciza c/ trabes	Cajón de concreto
Departamentos	Concreto reforzado	Marcos Contraventeados	L. Plana Reticular	Pilotes de fricción
Comercios	Concreto Prefabricado	Marcos de Concreto	Vigueta y Bovedilla	Sin cimentación
Oficinas Públicas	Mampostería con refuerzo	Muros de concreto	Losacero	Zapatas aisladas de concreto
Oficinas Privadas	Mampostería sin refuerzo	Muros de carga	Prefabricado	Zapatas corridas de concreto
Industrias	Otros	Marcos de acero	Techumbres de Lámina	Zapatas corridas de mampostería
Estacionamiento		Marcos y Muros de Carga	Losa catalana	
Bodegas		Marcos c/Muros de Concreto	Otros	
Educación		Marcos c/Muros de Tabique		
Recreativo		Mampostería Reforzada		
Salud y Protección Civil		Mixta		
Planta Baja Comercios, Superiores Habitacional		Otros		
Planta Baja Comercios y Habitacional; Superiores Habitacional				
Otros				

4.2 DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Para determinar la vulnerabilidad de cada estructura, la tabla de diferenciación de los tipos de estructuras dentro de las clases de vulnerabilidad de la Escala Macrosísmica Europea, presentada en la Figura 2.3, fue modificada por Juárez García *et al.* (2004). Esta modificación se debió a las diferentes características de las estructuras encontradas en la zona estudiada en la Colonia Roma, en comparación con aquellas descritas en la metodología original, quedando de la forma indicada en la Figura 4.3.

Tipo de estructura		Clase de Vulnerabilidad					
		A	B	C	D	E	F
Mampostería	No reforzada, con unidades de piedra manufacturadas (Ladrillo o de bloques sin refuerzo)	— —○— —					
	Reforzada o confinada		— —○— —				
Concreto Reforzado	Marcos con moderado nivel de Diseño Sismorresistente		— —○— —				
	Marcos con alto nivel de Diseño Sismo Resistente (DSR)			— —○— —			
	Muros con moderado nivel de Diseño Sismorresistente (DSR)			— —○— —			
	Muros con alto nivel de Diseño Sismo Resistente (DSR)				— —○— —		
Acero	Estructuras de acero			— —○— —			


 Clase de vulnerabilidad mas probable
 — Rango probable
 - - - Rango menos probable, casos excepcionales

Figura 4.3. Clases de vulnerabilidad para diferentes tipos de estructuras en la Colonia Roma. (Isidro y Padilla, 2003)

Las modificaciones realizadas, básicamente consistieron en eliminar la clasificación de estructuras de madera, así como aumentar los rangos de vulnerabilidad más probable en algunos tipos de estructuras. Para estructuras de mampostería no reforzada, la clase de vulnerabilidad más probable disminuye a B, teniendo rangos menos probables de A y C. De igual forma, las estructuras de mampostería reforzada o confinada, aumentan su vulnerabilidad de D a C

Además de la vulnerabilidad obtenida con la tabla 4.3, fueron consideradas las diferentes características de cada una de las edificaciones halladas en la zona de estudio. En términos generales, se hicieron las siguientes consideraciones:

- Las estructuras típicas de mampostería, concreto, concreto reforzado y acero, les fue asignada una clase de vulnerabilidad correspondiente según lo indicado en la Figura, siempre y cuando cumplan con todos los requisitos de estructuración, de diseño sísmo resistente, calidad y mano de obra, mantenimiento, regularidad y posición que ahí se especifican (Isidro y Padilla, 2003). Cuando esto no se cumplió, se efectuó un análisis más detallado de las características estructurales de cada edificación, a manera de establecer los criterios que permitieron asignar una clase de vulnerabilidad más adecuada. Por ejemplo, la resistencia de las losas de una edificación, u otros elementos rigidizantes horizontales, juegan un papel clave en la decisión de la vulnerabilidad de la estructura; por este motivo, las estructuras de mampostería con un sistema de piso de losa catalana fueron penalizadas aumentando su clase de vulnerabilidad correspondiente, de C a B. Esta modificación se realiza siempre y cuando no hayan sido dañados por sismo.

- En caso de haber sido dañada por sismo, la clase de vulnerabilidad fue incrementada al grado A, hayan sido o no reparadas o remodeladas. Para todas las estructuras que han sido dañadas por sismos previos fue asignado un grado de daño mínimo de dos, no tomando en cuenta si fueron remodeladas o reparadas; mientras que las estructuras sin mantenimiento, aumentaron su clase de vulnerabilidad, por ejemplo, para estructuras abandonadas o en estructuras dañadas anteriormente y que no fueron reparadas.

- Se asignó un grado de daño dos a las estructuras de mampostería que en su mayoría fueron construidas antes de 1957.

- Para las estructuras a base de marcos de concreto, la clase de vulnerabilidad asignada fue D. Si estas estructuras sufrieron daños por sismo, se les penalizó con un grado de daño y con una clase de vulnerabilidad mayor.

- A las edificaciones con estructuración de marcos y muros de concreto se les asignó la misma clase de vulnerabilidad que para las estructuras hechas de marcos de concreto.

- En el caso de marcos con muros de mampostería, se les penalizó con una mayor clase de vulnerabilidad, pasando de una clase de D a una clase C, debido a la posible interacción entre los marcos de concreto reforzado y muros divisorios o perimetrales.

- Se asignaron grados de daño 0 y vulnerabilidad clase E a los lotes sin clasificación como son lotes baldíos. El análisis de la regularidad en planta y regularidad vertical, fue realizado visualmente, en el momento de realizar el censo.

4.4.- RESUMEN DE RESULTADOS.

La Tabla 4.2 presenta el total de estructuras, identificando la clasificación en cuanto a material de construcción y la clase de vulnerabilidad asignada. Por su parte, en la Tabla 4.3 se observa la clasificación de estructuras por grados de daño.

Las clases de vulnerabilidad y daño encontradas en las Tablas 4.2 y 4.3, se distribuyen de la siguiente forma:

- La clase de vulnerabilidad A cuenta con 127 estructuras, siendo la mayoría de mampostería con refuerzo y ladrillo sólido; estas son estructuras muy antiguas y por lo tanto han tenido daños importantes por sismo. Además no cumplen con los requisitos mínimos que señala el reglamento de construcciones para estructuras de mampostería.

Tabla 4.2. Clasificación y vulnerabilidad asignada para estructuras

CLASIFICACIÓN DE LA ESTRUCTURA	Total de Estructuras	Clase de vulnerabilidad					
		A	B	C	D	E	F
A (Mampostería con refuerzo y ladrillo hueco)	4			4			
B (Mampostería con refuerzo y ladrillo sólido)	937	108	363	466			
C (Mampostería sin refuerzo)	18	18					
D (Concreto reforzado)	416	1	23	248	144		
E (Concreto prefabricado)	12		1	6	5		
F (Acero)	8				1	7	
G (Mixta)	4			3	1		
H (Sin clasificación)	40						40

Tabla 4.3. Clasificación y grado de daño asignado para estructuras

CLASIFICACIÓN DE ESTRUCTURA	Total de estructuras	Grado de daño					
		0	1	2	3	4	5
A (Mampostería con refuerzo y ladrillo hueco)	4	1	3				
B (Mampostería con refuerzo y ladrillo sólido)	937		714	215	3	3	2
C (Mampostería sin refuerzo)	18		12	4	1	1	
D (Concreto reforzado)	416	3	364	47	1		1
E (Concreto prefabricado)	12		10	2			
F (Acero)	8	2	6				
G (Mixta)	4		4				
H (Sin clasificación)	40	39					1

- La clase de vulnerabilidad B cuenta con 387 estructuras. Las edificaciones que predominan son nuevamente las hechas de mampostería con refuerzo y ladrillo

sólido y tienen dos características importantes: han sufrido daños por eventos sísmicos pasados y además, cuentan con un sistema de piso hecho de losa catalana, el cual no presenta ninguna rigidez horizontal, haciéndolas más vulnerables.

- La clase de vulnerabilidad C tiene un total de 727 estructuras. Esta clase de vulnerabilidad es la que predomina en la zona en estudio, siendo en su gran mayoría estructuras de mampostería con refuerzo y ladrillo sólido, así como de concreto reforzado. Las edificaciones de mampostería que se ubican en esta clase de vulnerabilidad están en buenas condiciones, no así las estructuras de concreto reforzado, las cuales fueron clasificadas en esta clase, debido principalmente a que su estructuración es a base de marcos con muros de tabique, los cuales aumentan la interacción existente marco-muro, pudiendo producir la existencia de columnas cortas o provocar problemas al no estar los muros ligados adecuadamente a los marcos.

- 151 estructuras fueron clasificadas con clase de vulnerabilidad D, siendo mayoría las de concreto reforzado, pues su estructuración, sistema de piso y características generales son las adecuadas.

- Las clases de vulnerabilidad E y F cuentan con 7 y 40 estructuras respectivamente. Las que se ubican en la clase E son todas de acero, las cuales se considera que se encuentran en buenas condiciones. Las 40 estructuras que pertenecen a la clase de vulnerabilidad E son estacionamientos y lotes baldíos; son lotes que no presentan ningún elemento estructural, por tal motivo su vulnerabilidad es nula.

4.5 GENERACIÓN DE MAPAS

De la información obtenida, Arellano Méndez *et al.*, (2003) generaron planos de localización que muestran con exactitud la ubicación de las estructuras con su respectivo grado de vulnerabilidad. Por ejemplo, en la Figura 4.4 se muestra una manzana ubicada entre la calle Colima y Tabasco, en la que la estructura de la esquina superior derecha fue clasificada con el expediente R-20. El inmueble es de concreto reforzado con una estructuración de mampostería con refuerzo y ladrillo hueco, siendo asignada por Arellano Méndez *et al.*, (2003), una vulnerabilidad tipo B y un grado de daño E.

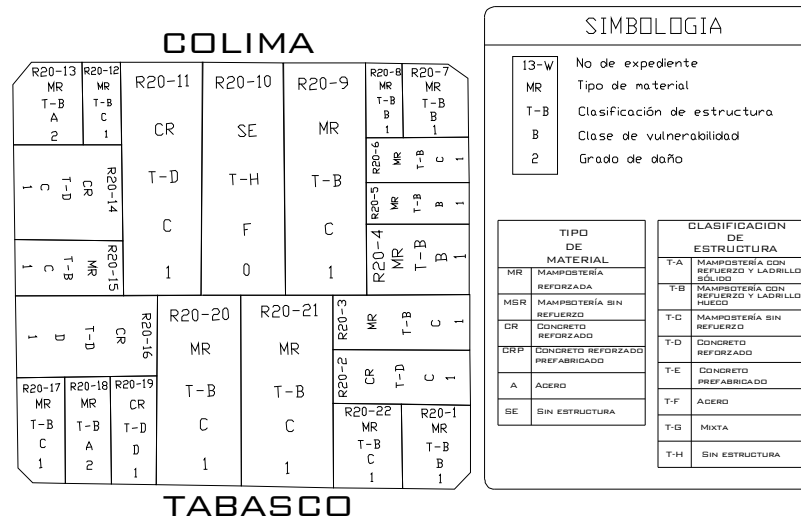


Figura 4.4. Detalle de la información generada para la zona de estudio. (Arellano Méndez, et al., 2003)

Esto permite señalar la clase de vulnerabilidad o el grado de daño para los diferentes tipos de estructuras. En las figuras 4.5 y 4.6 se presenta una manzana con las correspondientes clases de vulnerabilidad y grado de daño, respectivamente. Esta información puede ser utilizada para obtener el peligro sísmico, que permitirá conocer el riesgo sísmico para determinados escenarios, pudiendo así establecer estrategias de emergencia en zonas específicas de la Colonia Roma.

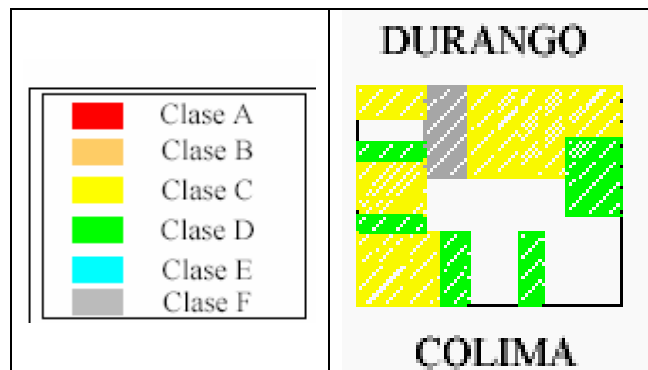


Figura 4.5. Ejemplo de clases de vulnerabilidad en estructuras de mampostería. (Arellano Méndez et al., 2003)

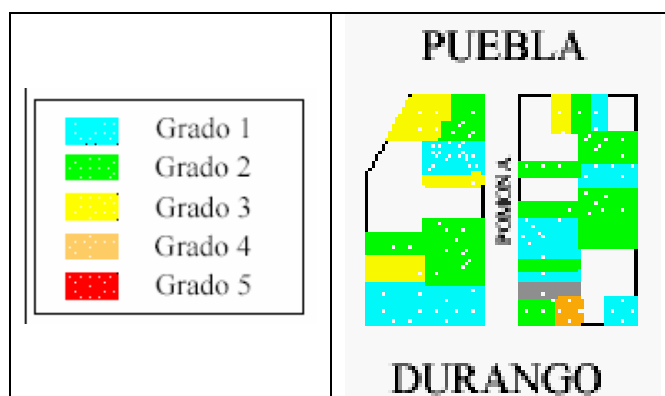


Figura 4.6. Ejemplo de grados de daño en estructuras de mampostería. (Arellano Méndez et al., 2003)

4.6.- SELECCIÓN DE LA MUESTRA

Debido a que se cuenta con toda la información de la zona en la Colonia Roma, fue posible aplicar los diferentes tipos de muestreo a diferentes niveles de significancia, partiendo de suponer que solamente se cuenta con el croquis de cada estructura dentro de cada manzana. Así, se aplicaron los tres esquemas de muestreo descritos en la sección 3.2.1, en donde para cada uno se determina el tamaño de muestra, y posteriormente se obtiene la información de cada estructura de la base de datos, simulando la presencia física en la estructura.

Para el muestreo por conglomerados en los diferentes niveles de significancia elegidos, se considera que no se conoce la cantidad de estructuras en cada manzana, ni su correspondiente croquis, para posteriormente elegir los conglomerados y realizar el levantamiento obteniendo la información de la base de datos.

4.6.1.- DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA

Los tamaños de muestra fueron determinados con los criterios presentados el capítulo tres de este trabajo, considerando un error máximo admitido de 0.05, el cual es usado comúnmente en muestras que miden proporciones (Walpole y Mayers, 1992). Por ejemplo para un nivel de confianza del 95% se tiene un valor de $Z_{0.05/2} = 1.96$ y aplicando la ecuación 3.1 se tiene el tamaño de muestra

$$n_0 = \frac{(1.96)^2 (0.5)(0.5)}{(0.05)^2} = 384.16 \approx 384 \quad (4.1)$$

De manera similar, en la Tabla 4.4 se presentan los tamaños de muestra obtenidos a los tres niveles de confianza restantes, 90%, 85% y 80%, cuyos tamaños son independientes del esquema de muestreo a emplear.

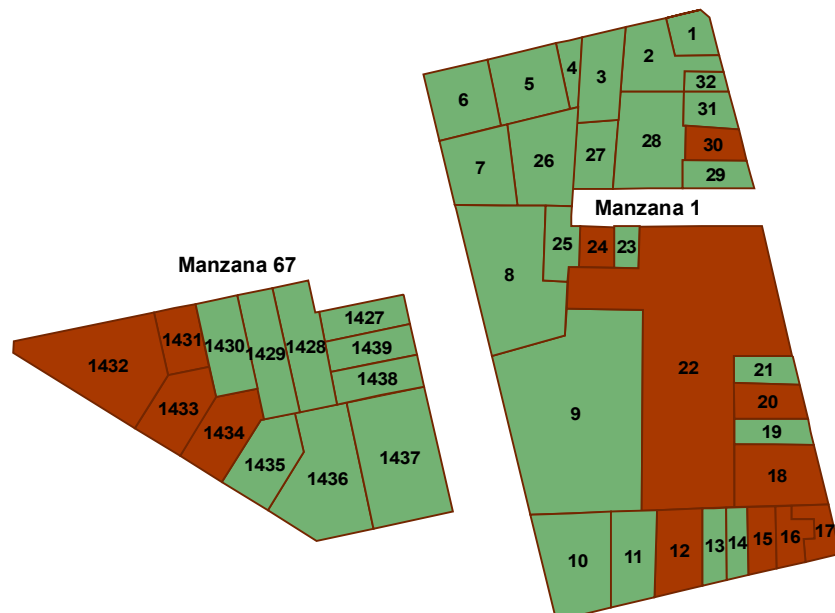
Tabla 4.4. Tamaños de muestras calculados para los diferentes tipos de muestreo y niveles de significancia

Nivel de significancia (1 - α) \times 100%	$Z_{\alpha/2}$	n_0
90%	1.645	271
85%	1.4393	207
80%	1.2846	164

4.6.2.- MUESTREO ALEATORIO SIMPLE

El marco de muestreo para este tipo de muestreo aleatorio, lo constituye la lista total de estructuras en cada una de las 67 manzanas. Teniendo un total de $N = 1439$ estructuras, se generan n_0 números aleatorios entre 1 y N , obteniéndose de esta forma, las estructuras que conformaran la muestra.

Para un nivel de confianza del 95% se generan 384 números aleatorios, según el tamaño de muestra obtenido. En la Figura 4.7, por ejemplo, se presentan en rojo las estructuras seleccionadas para la manzana 1 y 67 de la Colonia Roma.



4.6.3.- MUESTREO POR CONGLOMERADOS

Para el muestreo por conglomerados, se eligen las manzanas que constituyen la muestra de manera sistemática, considerando el promedio de 20 estructuras por manzana. Para una muestra al 95% de confianza de tamaño $n_o = 384$ en $Nm = 67$ manzanas, el número total de manzanas que tendrían un promedio de 20 estructuras cada una y que generarían un tamaño de muestra $n_o = 384$ estructuras es de

$$x = \frac{384}{20} = 19.2 \quad (4.5a)$$

calculando la fracción de muestreo

$$k = \frac{Nm}{x} = \frac{67}{19} = 3.52 \quad (4.5b)$$

Para este muestreo se redondeo la fracción de muestreo a cuatro, y continuando con el procedimiento de selección sistemática, se obtienen los conglomerados presentados en la Tabla 4.5, cuya ubicación en la población es presentada en la Figura 4.8.

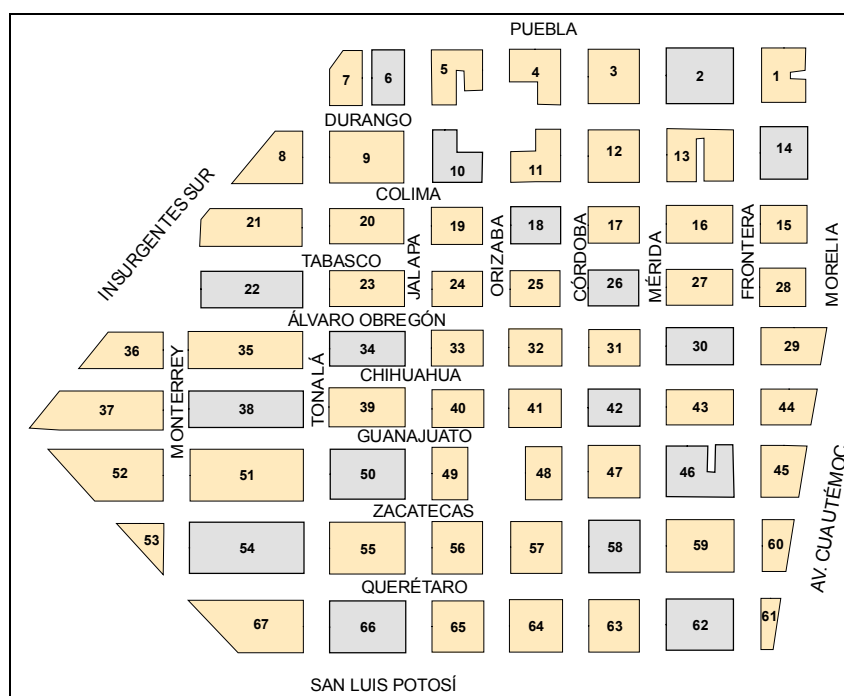


Figura 4.8. Manzanas muestreadas al 95% de confianza

Tabla 4.5. Manzanas en la muestra

Conglomerados elegidos	
2	38
6	42
10	46
14	50
18	54
22	58
26	62
30	66
34	

Los valores de x y k para los niveles de significancia restantes, se presentan en la Tabla 4.6. Los valores de k para estos niveles de confianza, no fueron redondeados como se hizo para el muestreo al 95% de confianza, sino se tomó el valor resultante.

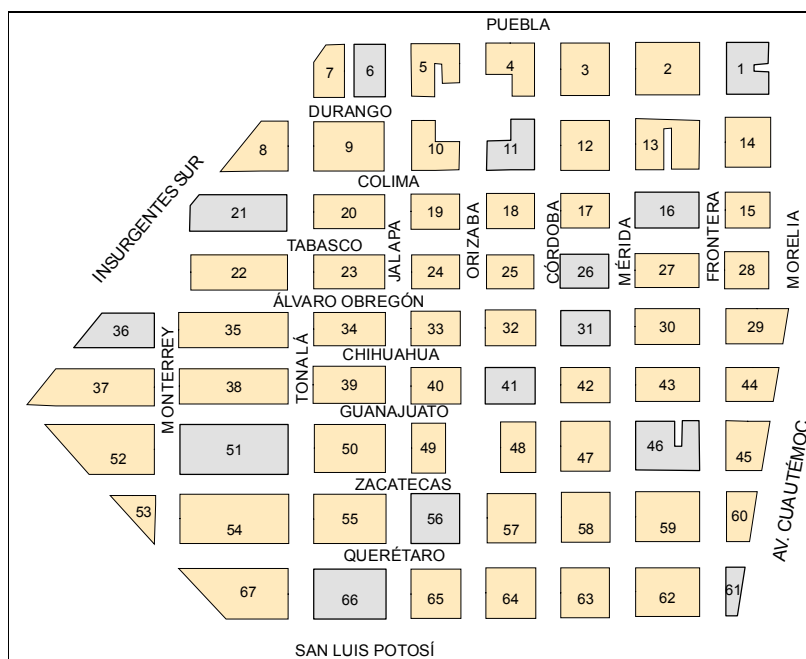
Tabla 4.6. Fracciones de muestreo para los diferentes niveles de significancia en el muestreo por conglomerados.

Nivel de significancia ($1 - \alpha$) \times 100%	n_0	$x = \frac{n_0}{20}$	$k = \frac{Nm}{x}$
90%	271	13.55	4.94
85%	207	10.35	6.47
80%	164	8.2	8.17

Para un nivel de confianza del 90%, se obtienen los conglomerados que se presentan en la Tabla 4.7, y se muestran en color gris en la Figura 4.9 en color gris. Esta muestra tiene un total de 14 manzanas que cumpliendo con el promedio resulta $14 \times 20 = 280$ estructuras en la muestra, lo cual da una cantidad mayor al calculado con el nivel de significancia correspondiente y con el que se obtuvo un tamaño de muestra de $n_0 = 271$. Esta diferencia se considera adecuada, ya que para aplicar un muestreo por conglomerados, no se conoce el número de estructuras en cada manzana.

Tabla 4.7. Conglomerados elegidos

Conglomerados elegidos	
1	36
6	41
11	46
16	51
21	56
26	61
31	66



Para el muestreo al 85% de confianza se eligieron las manzanas presentadas en la Tabla 4.8, cuya ubicación se indica en color gris en la Figura 4.10. Se omiten los resultados de los conglomerados elegidos y su ubicación, ya que no proporcionan comentarios adicionales.

Conglomerados elegidos	
1	37
7	43
13	49
19	55
25	61
31	67

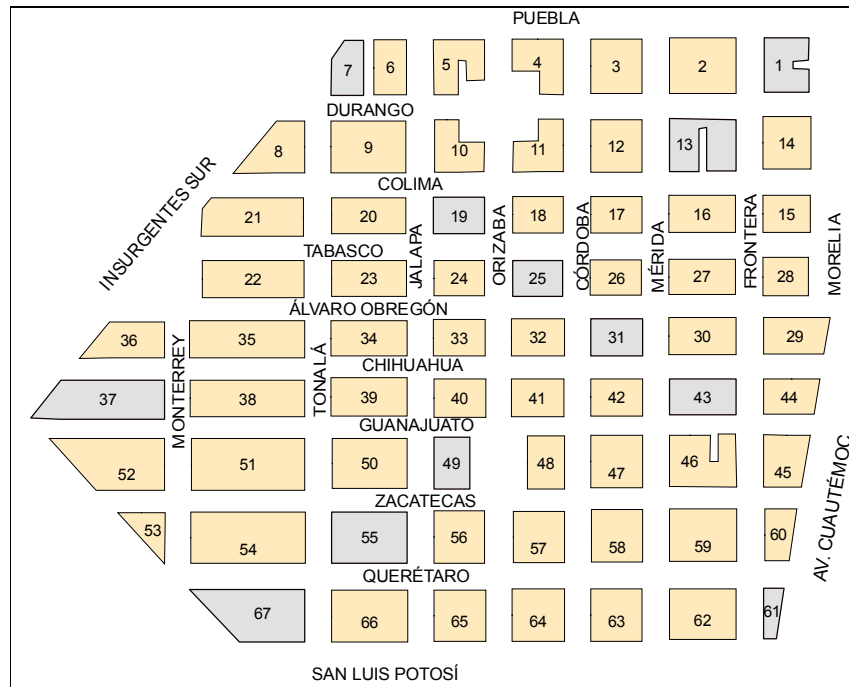


Figura 4.10. Conglomerado elegidos a un nivel del 85% confianza.

4.6.4.- MUESTREO SISTEMÁTICO

De acuerdo con el procedimiento descrito para la obtención de una muestra aleatoria con selección sistemática, para un nivel de confianza del 95%, se calcularon las estructuras que integraran la muestra como se indica en adelante.

En la población se tienen $N = 1439$ estructuras en total, y un tamaño de muestra $n_0 = 384$ estructuras, se calcula la fracción de muestreo

$$k = \frac{1439}{384} = 3.747 \quad (4.9)$$

Redondeando la fracción de muestreo a cuatro se obtienen 360 estructuras en la muestra, que resulta menor al tamaño de muestra calculado n_0 . En la Figura 4.11 puede observarse la distribución uniforme de la muestra en la zona de estudio.

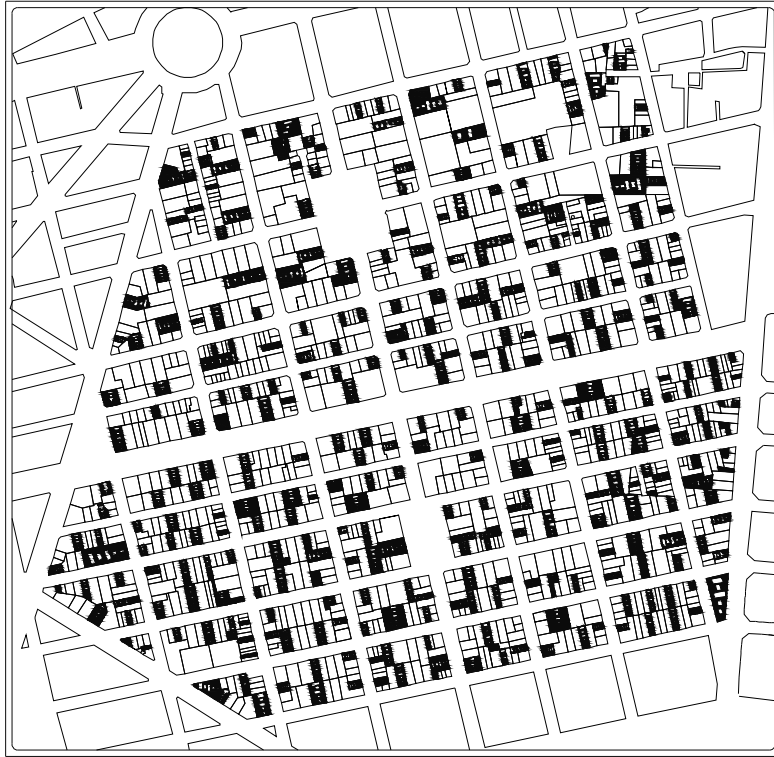


Figura 4.11. Distribución del muestreo aleatorio con selección sistemática al 95%

Para un nivel de confianza del 90%, la fracción de muestreo, k , no se redondeó al número inmediato superior, pues se decidió hacer un ajuste de decimales tomando un número aleatorio, R , entre 0.01 y k . Continuando con el procedimiento hasta cubrir las 1439 estructuras, se obtuvo finalmente un total de 271 estructuras dentro de la muestra, número que corresponde al tamaño total de la muestra calculado para este nivel de confianza.

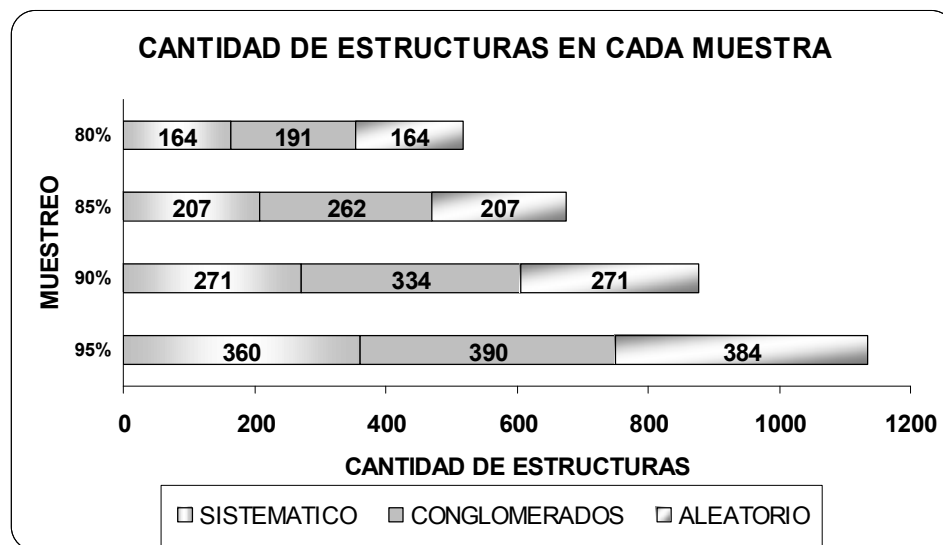


Figura 4.12. Estructuras muestreadas para diferentes tipos de muestreo y niveles de significancia.

En la Figura 4.12 se presentan las cantidades de estructuras muestreadas para cada nivel de confianza en los diferentes marcos de muestreo. Para el muestreo por conglomerados, el tamaño de muestra difiere de la cantidad calculada del tamaño de muestra para cada nivel de significancia. Esto se debe a que lo que se seleccionan son las manzanas, sin conocer la cantidad de estructuras dentro de cada una de ellas. Además, para el muestreo sistemático al 95% de confianza, se muestrearon 360 estructuras, debiendo ser de 384, esta diferencia se debe a que al tomar la muestra, no se aplicó el ajuste para decimales, decidiendo muestrear una de cada cuatro estructuras.

4.7.- TABLAS DE FRECUENCIA

Para cada uno de los muestreos realizados se obtuvieron las tablas de frecuencia para cada variable. En el apéndice III, se presentan las tablas correspondientes al muestreo sistemático a un nivel de significancia del 95%, que resultó ser el más adecuado, según se explica posteriormente en la sección 4.8.

En la Figura 4.13 se pueden observar las cantidades de estructuras que les corresponde una clase de vulnerabilidad de la A a la F, según los esquemas de muestreo considerados, aleatorio con selección sistemática, aleatorio simple y por conglomerados, a un nivel de confianza del 95%. Se observa que se obtiene una mayor cantidad de estructuras muestreadas para un muestreo por conglomerados. Por su parte, con el muestreo aleatorio con selección sistemática, se genera una cantidad de estructuras en la muestra que no varía en cuanto al tamaño calculado para la muestra.

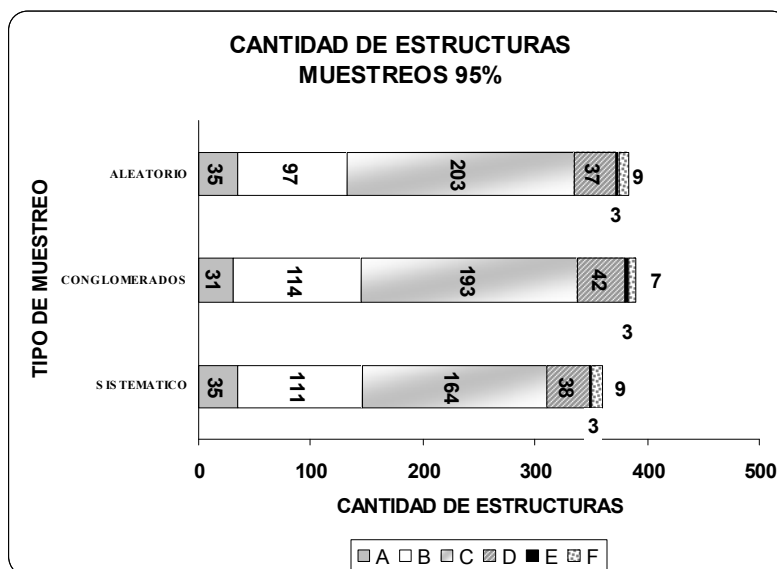


Figura 4.13. Estructuras muestreadas con diferentes tipos de muestreo a un nivel de 95% de confianza.

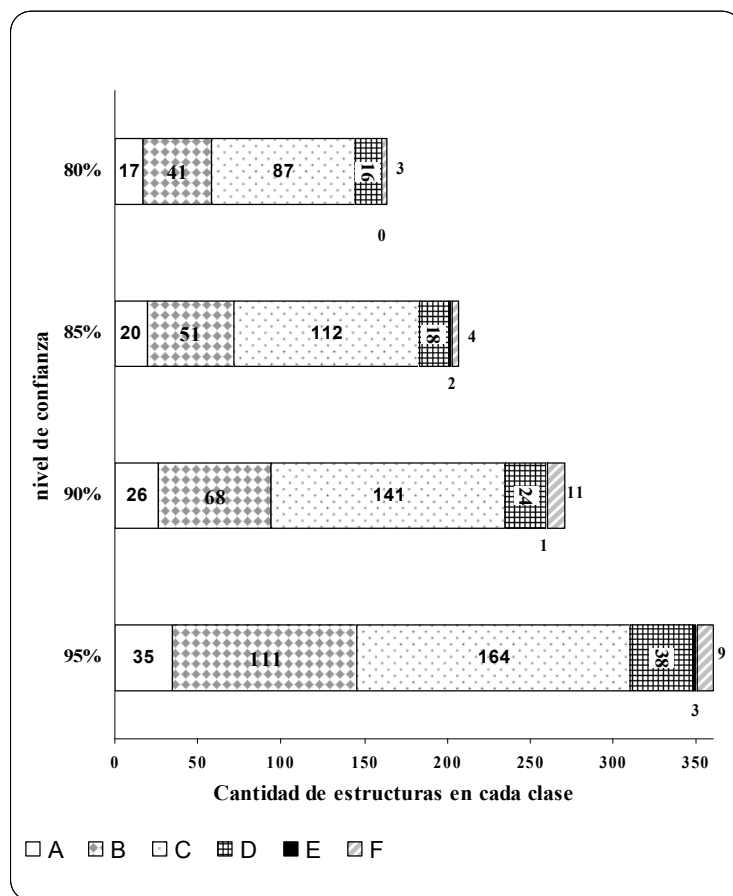


Figura 4.14. Cantidad de estructuras en cada clase de vulnerabilidad mediante muestreo aleatorio con selección sistemática.

En la Figura 4.14 se presenta la cantidad de estructuras muestreadas para cada clase de vulnerabilidad, con un muestreo aleatorio con selección sistemática, mientras que en la Tabla 4.9 se indican los valores correspondientes a esta figura.

Tabla 4.9. Valores para la figura 4.16.

Clase de Vulnerabilidad	Nivel de significancia			
	95%	90%	85%	80%
A	35	26	20	17
B	111	68	51	41
C	164	141	112	87
D	38	24	18	16
E	3	1	2	0
F	9	11	4	3

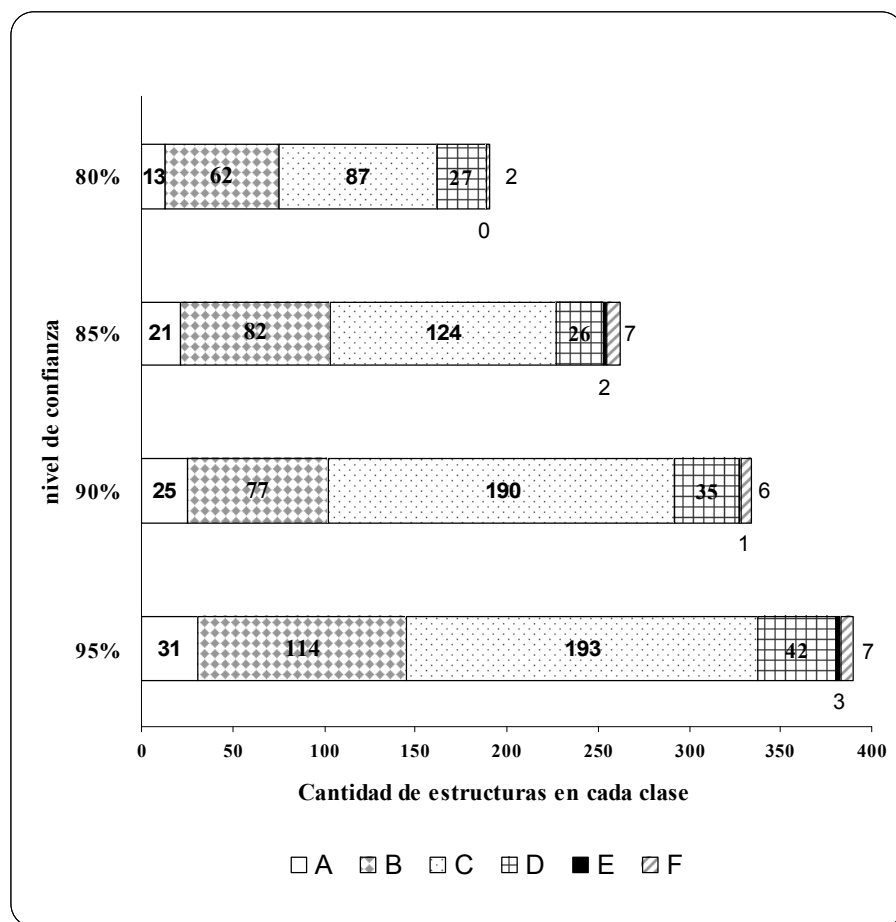


Figura 4.15. Cantidad de estructuras para cada clase de vulnerabilidad mediante muestreo por conglomerados.

En la Figura 4.15 se presenta la cantidad de estructuras incluidas en la muestra para cada clase de vulnerabilidad mediante un muestreo por conglomerados, y en la tabla 4.10 los valores correspondientes a esta figura.

Tabla 4.10. Valores para la Figura 4.17.

Clase	Nivel de significancia			
	95%	90%	85%	80%
A	31	25	21	13
B	114	77	82	62
C	193	190	124	87
D	42	35	26	27
E	3	1	2	0
F	7	6	7	2

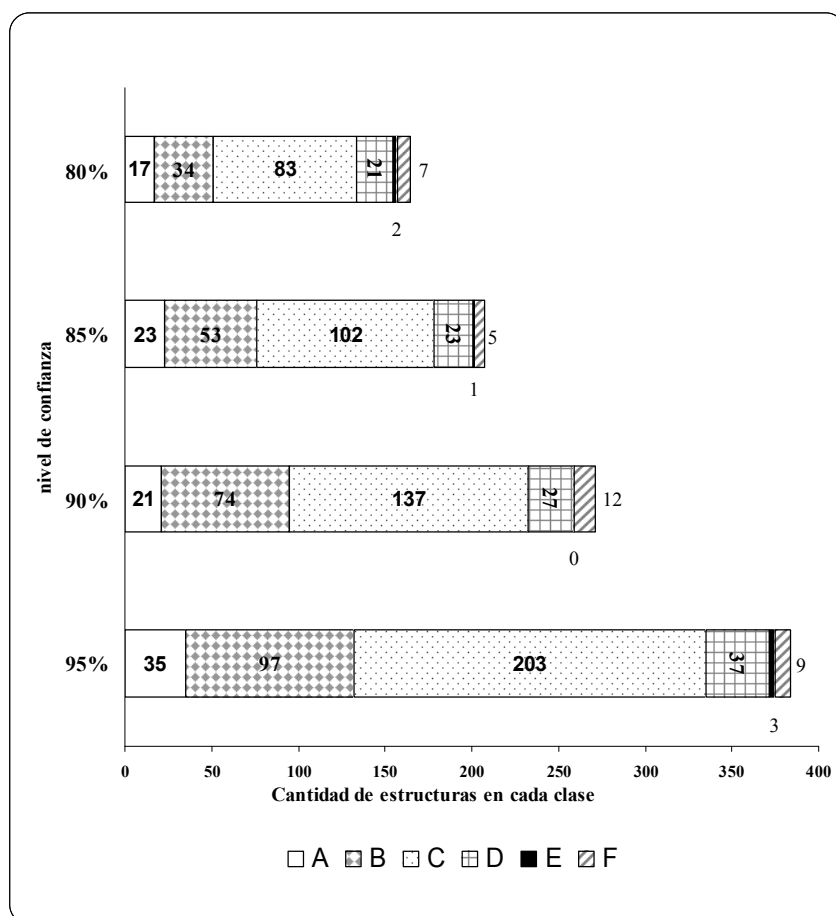


Figura 4.16. Cantidad de estructuras para cada clase de vulnerabilidad mediante muestreo aleatorio simple.

Por último, en la Figura 4.16 presenta la cantidad de estructuras incluidas en la muestra para cada clase de vulnerabilidad mediante un muestreo aleatorio simple, y en la tabla 4.11 los valores correspondientes a esta figura.

Tabla 4.11. Valores de la Figura 4.18.

Clase	Nivel de significancia			
	95%	90%	85%	80%
A	35	21	23	17
B	97	74	53	34
C	203	137	102	83
D	37	27	23	21
E	3	0	1	2
F	9	12	5	7

4.8.- EVALUACIONES ESTADÍSTICAS DE LAS VARIABLES

Adicionalmente, se presentan los valores obtenidos del análisis de cada uno de los tipos de muestreo y niveles de confianza para la variable “Clase de vulnerabilidad”, los cuales fueron comparados con la población de estudio con la finalidad de observar e identificar el tipo de muestreo y el nivel de confianza más representativo. Esto permitió desarrollar las recomendaciones realizadas sobre la metodología propuesta. Los resultados obtenidos se presentan en las tablas 4.12 a 4.15. En la Tabla 4.12 se indica en la columna “Frecuencia absoluta”, la cantidad de estructuras registradas para las diferentes clases de vulnerabilidad, así como las frecuencias relativas, esto es, las proporciones de cada clase de vulnerabilidad en relación al total de estructuras en la población. Estas frecuencias relativas fueron comparadas con las correspondientes frecuencias relativas de cada muestra.

Tabla 4.12. Frecuencias de la clase de vulnerabilidad en la población.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
A	127	0.0883
B	387	0.2689
C	727	0.5052
D	151	0.1049
E	7	0.0049
F	40	0.0278
TOTAL	1439	

Las tablas 4.13 a 4.15, se presentan las frecuencias para la variable “Clase de vulnerabilidad”, de cada uno de los muestreos considerados, para un nivel de confianza del 95%. Las tablas 4.16 a 4.18, pertenecen a cada una de las muestras obtenidas a un nivel de confianza del 90%, mientras que las tablas 4.19 a 4.21 son las relacionadas a un nivel de confianza del 85%, y finalmente, las tablas 4.22 a 4.24 corresponden a un nivel de confianza del 80%. En la cuarta columna de estas tablas, denominada “*valor p*”, se presenta el valor del estadístico p , resultado de las pruebas de hipótesis para comparar las proporciones en la población y las proporciones para cada una de las muestras.

Con el fin de verificar los resultados, se obtuvieron otros muestreos con los mismos niveles de significancia, 95%, 90%, 85% y 80%, y los tres esquemas de muestreo. Estos resultados se presentan en el Apéndice IV, en donde las proporciones para estos muestreos fueron comparadas con las correspondientes presentadas en la Tabla 4.12.

Tabla 4.13. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo sistemático al 95% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	35	0.0972	0.5950
B	111	0.3083	0.1351
C	164	0.4556	0.0919
D	38	0.1056	0.9725
E	3	0.0083	0.4285
F	9	0.0250	0.7705
TOTAL	360		

Tabla 4.14. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo por conglomerados al 95% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	31	0.0793	0.5754
B	114	0.2916	0.3737
C	194	0.4962	0.7510
D	42	0.1074	0.8873
E	3	0.0077	0.5042
F	7	0.0179	0.2728
TOTAL	391		

Tabla 4.15. Resumen de frecuencia y valor p para muestreo aleatorio simple al 95% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	35	0.0911	0.8596
B	97	0.2562	0.5196
C	203	0.5286	0.4144
D	37	0.0964	0.6233
E	3	0.0078	0.4871
F	9	0.0234	0.6388
TOTAL	384		

Según el procedimiento de pruebas de hipótesis, si el *valor p* es menor al nivel de significancia especificado, se debe rechazar la hipótesis nula que para este caso es “la proporción de la muestra es igual a la proporción en la población”. Para las tablas 4.13 a 4.15, se observa que ningún valor de la columna *valor p* , es menor a $\alpha = 0.05$, que corresponde a un nivel de confianza del 95%, lo cual indica que los tres tipos de muestreo a este nivel de confianza representan significativamente a la población.

Tabla 4.16. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo sistemático al 90% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	26	0.0959	0.6842
B	68	0.2509	0.5381
C	141	0.5203	0.6486
D	24	0.0886	0.4146
E	1	0.0037	0.7949
F	11	0.0406	0.2560
TOTAL	271		

Tabla 4.17. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo por conglomerados al 90% de confianza

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	25	0.0749	0.4304
B	77	0.2305	0.1503
C	190	0.5689	0.0359
D	35	0.1048	0.9938
E	1	0.0030	0.6458
F	6	0.0180	0.3084
TOTAL	334		

Tabla 4.18. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo aleatorio simple al 90% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	21	0.0775	0.5631
B	74	0.2731	0.8883
C	137	0.5055	0.9922
D	27	0.0996	0.7931
E	0	0	0.2499
F	12	0.0443	0.1471
TOTAL	271		

Para un nivel del 90% de confianza, se observa en la Tabla 4.17 que, para la clase de vulnerabilidad C, el valor de p es menor a $\alpha = 0.1$, lo que indica que para esta clase de vulnerabilidad, este tipo de muestreo no es significativo. Para otros muestreos realizados, este valor de p , no es menor al nivel de significancia como se puede observar en la Tabla IV.5 del Apéndice IV, que muestra una evidencia de que las proporciones no son diferentes.

En la tabla 4.18, se observa que no fue registrada ninguna estructura con clase de vulnerabilidad E, sin embargo, el valor p no es menor a $\alpha = 0.1$ debido a que en la población existen solamente siete estructuras con esta clase de vulnerabilidad, y es difícil que una muestra las represente adecuadamente.

Tabla 4.19. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo aleatorio sistemático al 85% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	20	0.0966	0.6932
B	51	0.2464	0.4922
C	112	0.5411	0.3346
D	18	0.0870	0.4255
E	2	0.0097	0.3814
F	4	0.0193	0.4797
TOTAL	207		

Tabla 4.20. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo por conglomerados al 85% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	21	0.0802	0.6686
B	82	0.3130	0.1423
C	124	0.4733	0.3417
D	26	0.0992	0.7811
E	2	0.0076	0.5698
F	7	0.0267	0.9218
TOTAL	262		

Tabla 4.21. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo aleatorio simple al 85% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	23	0.1111	0.2853
B	53	0.2560	0.6950
C	102	0.4928	0.7374
D	23	0.1111	0.7869
E	1	0.0048	0.9949
F	5	0.0242	0.7638
TOTAL	207		

Se observa en la Tabla 4.20, para la clase de vulnerabilidad B, que el valor de p es menor a $\alpha = 0.15$, pero dado que la diferencia es muy pequeña, se considera que esta muestra es representativa, tomando en cuenta además, los resultados de la Tabla IV.9 del apéndice IV, se indica que para esta clase de vulnerabilidad el valor de p no es menor al nivel de significancia relacionado, lo que apoya la decisión de considerar como representativa a esta muestra.

Tabla 4.22. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo sistemático al 80% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	17	0.1037	0.5133
B	41	0.2500	0.6034
C	87	0.5305	0.5395
D	16	0.0976	0.7696
E	0	0	0.3707
F	3	0.0183	0.4753
TOTAL	164		

Tabla 4.23. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo por conglomerados al 80% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	13	0.0681	0.3493
B	62	0.3246	0.1056
C	87	0.4555	0.1966
D	27	0.1414	0.1293
E	0	0	0.3340
F	2	0.0105	0.1556
TOTAL	191		

Tabla 4.24. Resumen de frecuencia y valor p para muestreo aleatorio simple al 80% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	17	0.1037	0.5133
B	34	0.2073	0.0893
C	83	0.5061	0.9828
D	21	0.1280	0.3648
E	2	0.0122	0.2338
F	7	0.0427	0.2843
TOTAL	164		

En la Tabla 4.23 se puede observar que para las vulnerabilidades B, C, D y F, los valores de p son menores a $\alpha = 0.20$, y aunque no se alejan significativamente de este valor, esto se presenta en la mayoría de clases de vulnerabilidad, por lo que se considera que un muestreo por conglomerados al 80% es poco representativo de la población. La misma tendencia se observa en la Tabla IV.11, para las clases de vulnerabilidad B, C y D.

En la Tabla 4.24 se observa que el muestreo aleatorio simple es poco representativo, de acuerdo al valor p obtenido para la clase de vulnerabilidad B, observándose los mismos resultados en la Tabla IV.12 para las clases de vulnerabilidad A, B y D.

Con base a los resultados de estas pruebas, se recomienda que el tamaño de muestra sea calculado con el 95% de confianza, y en caso de no contar con suficientes recursos, reducir el nivel de confianza hasta el 80%, siempre y cuando se realice un muestreo sistemático.

El tipo de muestreo idóneo es el muestreo aleatorio con selección sistemática, pues este ha presentado mejores resultados en cuanto a que la muestra tiene una mejor distribución espacial en la población y proporciones adecuadas. Como ya se ha dicho, si el marco de muestreo con que se cuenta no proporciona el listado completo de las estructuras, un muestreo estadístico por conglomerados es el indicado, para lo que se deben obtener muestreos de este tipo considerando un nivel de significancia del 95% hasta 85%.

4.9.- PRUEBAS DE INDEPENDENCIA

De acuerdo al capítulo tres, se realizaron pruebas de independencia entre diferentes variables y la variable “Clase de vulnerabilidad”. Así, en la Tabla 4.25 se presentan los valores obtenidos en este tipo de análisis. En la primer columna de esta tabla, se indica la variable que se desea evaluar, en la segunda columna el valor del estadístico calculado χ_0^2 y en la tercera y cuarta columnas, el valor de los renglones, r , y columnas, c , de la tabla de contingencia construida para cada variable, los cuales se utilizan para calcular los grados de libertad, v , con el que se obtiene el valor de $\chi_{\alpha,v}^2$ de la columna seis. Finalmente en la columna siete, se decide si la variable es dependiente o independiente de la “Clase de vulnerabilidad”.

Tabla 4.25. Prueba de independencia

Variable	χ_0^2	r	c	v	$\chi_{\alpha,(r-1)(c-1)}^2$ 0.05	Decisión
Ubicación	116.83	6	3	10	18.3	Dependiente
Año de construcción	854.85	6	3	10	18.3	Dependiente
Número de niveles	1060.09	6	11	50	71.42	Dependiente
Número de sótanos	135.04	6	2	5	11.1	Dependiente
Tipo de terreno	-	-	1	-	-	-
Uso principal	1684.65	6	23	110	140.9	Dependiente
Tipo de cimentación	1832.19	6	7	30	43.8	Dependiente
Material	3037.81	6	8	35	49.8	Dependiente
Tipología estructural	4142.93	6	11	50	71.42	Dependiente
Sistema de piso	3529.88	6	12	55	77.38	Dependiente
Regularidad en planta	21.64	6	3	10	18.3	Dependiente
Regularidad vertical	24.23	6	3	10	18.3	Dependiente
Daños previos por sismo	553.67	6	3	10	18.3	Dependiente
Reparaciones anteriores	23.31	6	3	10	18.3	Dependiente
Seguridad de los elementos no estructurales	121.40	6	3	10	18.3	Dependiente
Grado de daño	1825.68	6	6	25	37.7	Dependiente

La variable es independiente si el valor de $\chi_0^2 < \chi_{\alpha,v}^2$, si esto sucede, la eliminación de la variable que resultó independiente no debería afectar la estimación de la “Clase de vulnerabilidad” de las estructuras. Como se observa en la Figura 4.25, cuando se analiza a la población al nivel de significancia $\alpha = 0.05$, resultan dependientes todas las variables, lo que indica que cada variable analizada influye en la condición de la vulnerabilidad de cada estructura en la población.

La prueba no es aplicable para tablas de contingencia con un renglón o una columna, lo que sucede para variable “Tipo de terreno” que presenta un solo parámetro, es decir, todas las estructuras fueron registradas sobre un tipo de terreno lacustre.

4.10.- CURVAS DE FRAGILIDAD

Las curvas de fragilidad son relaciones continuas que representan la probabilidad de que la respuesta de una estructura exceda un determinado estado límite (Bonnet Díaz, 2003), en otras palabras, puede decirse que son una medida de la vulnerabilidad sísmica en términos probabilistas. Existen diferentes métodos para la obtención de estas curvas. El que se utiliza en este trabajo corresponde a los métodos basados en daños observados, que requieren de formularios que identifiquen el tipo de daño que se observa.

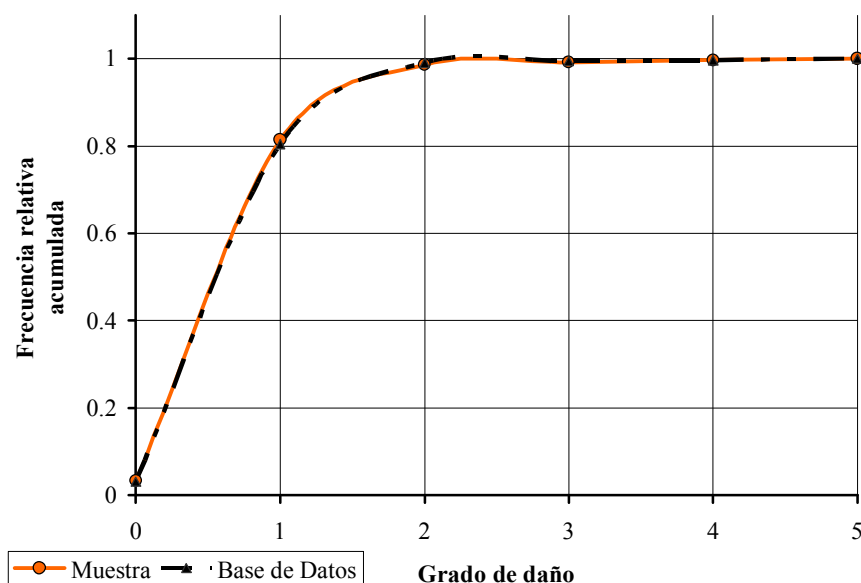


Figura 4.17. Comparación de curvas de fragilidad

En la Figura 4.17 se muestra en línea naranja continua, la curva de fragilidad obtenida para la población estudiada en la Colonia Roma. Con línea negra discontinua se presenta la curva obtenida para el muestreo sistemático al 95% de significancia. Entre estas curvas se define un error promedio mediante el cociente de la diferencia entre la

población y la muestra, dividido entre el valor correspondiente a la muestra. Este error es de 1.15%. Un punto en el eje horizontal representa uno de los posibles valores del daño (0 – 5); su punto correspondiente en el eje vertical lo relaciona con la proporción de estructuras que tendrá un daño menor o igual a él. En la Tabla 4.26 se tabulan los valores correspondientes a la Figura 4.17.

Tabla 4.26. Valores correspondientes a la Figura 4.17

Daño	POBLACIÓN			MUESTRA		
	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia Relativa acumulada	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
0	45	0.0313	0.0313	12	0.0333	0.0333
1	113	0.7735	0.8047	281	0.7806	0.8139
2	268	0.1862	0.991	62	0.1722	0.9861
3	5	0.0035	0.9944	2	0.0056	0.9917
4	4	0.0028	0.9972	2	0.0056	0.9972
5	4	0.0028	1	1	0.0028	1

De la Figura 4.17 se observa que tanto en la base de datos como en la muestra el 100 % de las estructuras tienen un grado de daño menor a cinco, aproximadamente 99% tienen un grado de daño menor a dos y un 80 por ciento de ellas tienen un grado de daño menor a uno. De acuerdo a las pruebas realizadas entre proporciones que indican que la muestra obtenida sistemáticamente a un nivel del 95% es representativa de la población, la similitud entre las curvas de fragilidad era algo que se podía prever. Lo anterior, permite reforzar el uso de muestras, que finalmente permitan conocer, a partir de una curva de este tipo, el porcentaje de estructuras en una zona que están dañadas, y así, tomar las medidas necesarias para las tareas de refuerzo, o desarrollar planes de emergencia.

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE LA CIUDAD DE CHILPANCINGO, GUERRERO

El área analizada en la ciudad de Chilpancingo, Guerrero, fue estudiada por Arellano Méndez *et al.*, (2002), estudio del que se tomó la información necesaria para el desarrollo del presente trabajo. La región que se presenta en amarillo en la Figura 5.1, es tomada como población objetivo, y corresponde a un área con 56 manzanas y un total de 1306 estructuras.



Figura 5.1. Zona estudiada en Chilpancingo, Guerrero

Para llevar a cabo el análisis de la base de datos de la ciudad de Chilpancingo, se ordenaron las estructuras dentro de la manzana correspondiente, de acuerdo al nombre de calle y número oficial de cada estructura registrada. En total, la zona estudiada comprende 1306 estructuras, como ya se dijo, para las cuales no se cuenta con croquis que indique el área de cada lote o estructura en su correspondiente manzana. Aún así, se asignó un número de identificación a cada registro de la forma descrita en la metodología aquí presentada en el capítulo 6, para contar con un orden en la información. En la Tabla 5.1, se presenta la cantidad de estructuras registradas en cada una de las 56 manzanas que forman esta población (Chávez Morita, 2005).

Tabla 5.1. Número de estructuras por manzana en la población.

MANZANA	NÚMERO DE ESTRUCTURAS	MANZANA	NÚMERO DE ESTRUCTURAS
M01	35	M29	10
M02	23	M30	21
M03	17	M31	24
M04	29	M32	39
M05	20	M33	30
M06	16	M34	12
M07	64	M35	6
M08	60	M36	14
M09	11	M37	18
M10	3	M38	40
M11	14	M39	41
M12	9	M40	26
M13	45	M41	23
M14	25	M42	39
M15	28	M43	41
M16	4	M44	60
M17	1	M45	57
M18	3	M46	17
M19	4	M47	10
M20	5	M48	2
M21	4	M49	54
M22	43	M50	2
M23	28	M51	17
M24	7	M52	54
M25	23	M53	7
M26	22	M54	26
M27	6	M55	30
M28	15	M56	22

5.1.- SELECCIÓN DE LA MUESTRA

Como se ha mencionado anteriormente, la selección del tipo de muestreo estadístico depende de la información con que se cuente, y para esta zona se tienen los datos de cada una de las estructuras de la zona, por lo que es posible aplicar los tres

tipos de muestreo a diferentes niveles de confianza, con el fin de conocer qué muestreo y qué nivel de confianza proporciona una muestra más representativa de toda la población.

5.1.1.- DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA

Se determinaron los tamaños de muestra para los tres tipos de muestreo, especificando un error máximo admitido de 0.05, el cual es usado comúnmente en muestras que miden proporciones (Lohr, 2000).

Para un nivel de confianza del 95% se tiene un valor de $Z_{0.05/2} = 1.96$. Aplicando la ecuación 3.1 se tiene el tamaño de muestra

$$n_0 = \frac{(1.96)^2 (0.5)(0.5)}{(0.05)^2} = 384.16 \approx 384 \quad (5.1)$$

En la Tabla 4.4, se presentan los tamaños de muestra obtenidos para los niveles de confianza restantes, que son los mismos a los calculados en la población estudiada en la Colonia Roma. Finalmente, al aplicar los muestreos, se tiene las cantidades muestreadas que se presentan en la Figura 5.2, en donde se observa nuevamente que para los muestreos por conglomerados, las cantidades de estructuras son mayores a los tamaños de muestra calculados.

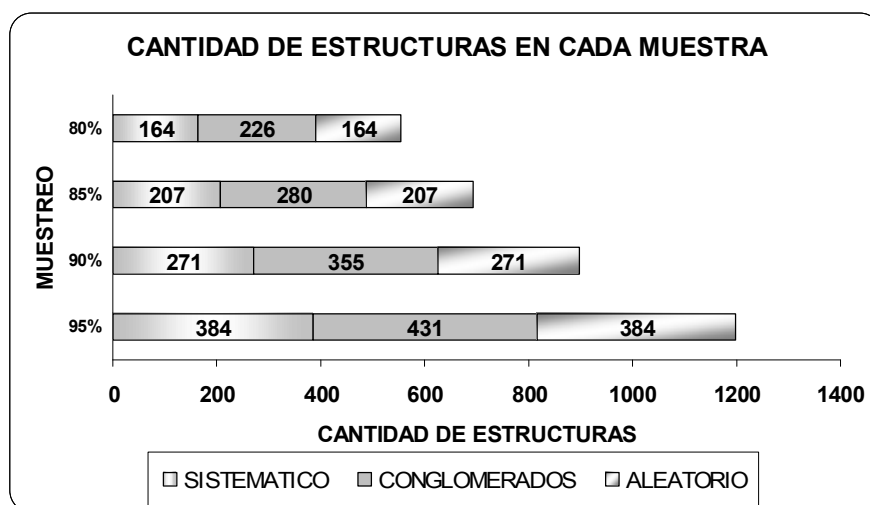


Figura 5.2. Cantidades de estructuras muestreadas a diferentes niveles de significancia

5.1.2.- MUESTREO ALEATORIO SIMPLE

El marco de muestreo para este tipo de selección aleatoria, lo constituye la lista total de estructuras en cada una de las 56 manzanas. Teniendo un total de $N = 1306$ estructuras, se siguió el procedimiento destacado el capítulo 3 para generar n_0 números aleatorios

entre 1 y N . Para un nivel de confianza del 95% se generan 384 números aleatorios, según el tamaño de muestra calculado.

No se presenta un croquis de localización de los muestreos realizados, debido a que no se cuenta con un mapa de los lotes en cada una de las manzanas de la zona, sin embargo las proporciones de vulnerabilidades encontradas, se pueden consultar en las tablas 5.8 a 5.20.

5.1.3.- MUESTREO POR CONGLOMERADOS

Se eligen las manzanas que formarán la muestra, considerando la observación de un promedio de 20 estructuras por manzana en la base de datos de la Colonia Roma. Para una muestra al 95% de confianza de tamaño $n_o = 384$ estructuras en $Nm = 56$ manzanas, el número total de manzanas que tendrían un promedio de 20 estructuras cada una y que generarían un tamaño de muestra $n_o = 384$ estructuras es de

$$x = \frac{384}{20} = 19.2 \quad (5.2a)$$

calculando la fracción de muestreo

$$k = \frac{Nm}{x} = \frac{56}{19.2} = 2.91 \quad (5.2b)$$

Aplicando el procedimiento de selección sistemática, se obtienen los conglomerados presentados en la Tabla 5.2. Se observa en la Figura 5.3 en color amarillo, los conglomerados elegidos a este nivel de confianza. Para esta figura, la zona en color gris representa las manzanas que rodean el área en análisis, las manzanas en color verde corresponden a los conglomerados no elegidos en la muestra.

Tabla 5.2. Manzanas en la muestra

Conglomerados elegidos	
1	30
4	33
7	36
10	39
12	42
15	45
18	47
21	50
24	53
27	56



Figura 5.3. Conglomerados elegidos a un nivel de confianza del 95%.

El tamaño de muestra, n_0 , y los valores de x y k obtenidos para los niveles del 90%, 85% y 80% de confianza, se presentan en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3. Fracciones de muestreo para los diferentes niveles de significancia en el muestreo por conglomerados.

Nivel de significancia ($1 - \alpha$) \times 100%	n_0	$x = \frac{n_0}{20}$	$k = \frac{Nm}{x}$
90%	271	13.55	4.13
85%	207	10.35	5.41
80%	164	8.2	6.83

Los conglomerados elegidos para un nivel de confianza del 90% se presentan en la Tabla 5.4. Estos se muestran en la Figura 5.4 en color amarillo. Esta muestra tiene un total de 14 manzanas que cumpliendo con el promedio resulta $14 \times 20 = 280$ estructuras en la muestra, lo cual da una cantidad aproximada al calculado con el nivel de significancia correspondiente $n_0 = 271$.

Tabla 5.4. Conglomerados elegidos

Conglomerados elegidos	
1	30
5	34
9	38
13	42
18	46
22	51
26	55



Figura 5.4. Conglomerados elegidos a un nivel de 90% de confianza.

Las manzanas obtenidas para un muestreo al 85% y 80% de confianza se presentan en las Tabla 5.5 y Tabla 5.6, respectivamente, cuya distribución en la población se puede observar en las figuras 5.5 y 5.6 en color amarillo.

Tabla 5.5. Conglomerados seleccionados para un 85% de nivel de confianza

Conglomerados elegidos	
2	35
7	40
13	45
18	51
24	56
29	35



Tabla 5.6. Manzanas a muestrear a un nivel de significancia del 80%.

Conglomerados elegidos	
4	31
11	38
17	45
24	52

5.1.4.- MUESTREO SISTEMÁTICO

Para un nivel de confianza del 80% y considerando que la población tiene $N = 1306$ estructuras en total, y se tiene además un tamaño de muestra $n_0 = 164$ estructuras, se calcula la fracción de muestreo

$$k = \frac{1306}{164} = 7.9634 \quad (5.3a)$$

$$k \approx 7.96 \quad (5.3b)$$

Tomando $R = 5.89$ como número aleatorio entre 0.01 y 7.96, y la estructura número 5 como primer elemento en la muestra. Continuando con el procedimiento hasta obtener las 164 estructuras que el tamaño de muestra, $n_0 = 164$. En la Tabla 5.7 se presentan las fracciones de muestreo para los niveles de confianza 95%, 90% y 85%. La ubicación de los muestreos en la población no se presenta, ya que no se cuenta con croquis de ubicación de las estructuras en cada manzana.

Tabla 5.7. Fracciones de muestreo calculadas para muestreo sistemático

Nivel de significancia ($1 - \alpha$) \times 100%	n_0	$k = \frac{N}{n_0}$
95%	384	3.40
90%	271	4.82
85%	207	6.31

5.2.- TABLAS DE FRECUENCIA

Para cada uno de los muestreos realizados se obtuvieron las correspondientes tablas de frecuencia para cada una de las variables. En el apéndice V se presentan las tablas de frecuencia obtenidas en un muestreo aleatorio con selección sistemática a nivel de significancia del 95%.

Además, en la Figura 5.7, se indican las cantidades de estructuras correspondientes a las vulnerabilidades A a la F que fueron obtenidas mediante un muestreo aleatorio con selección sistemática a diferentes niveles de confianza. Se observa que para los muestreos al 85% y 80% de confianza, no se registra ninguna estructura con clase de vulnerabilidad E, debido a que en la población se cuenta solamente con 3 estructuras de este tipo.

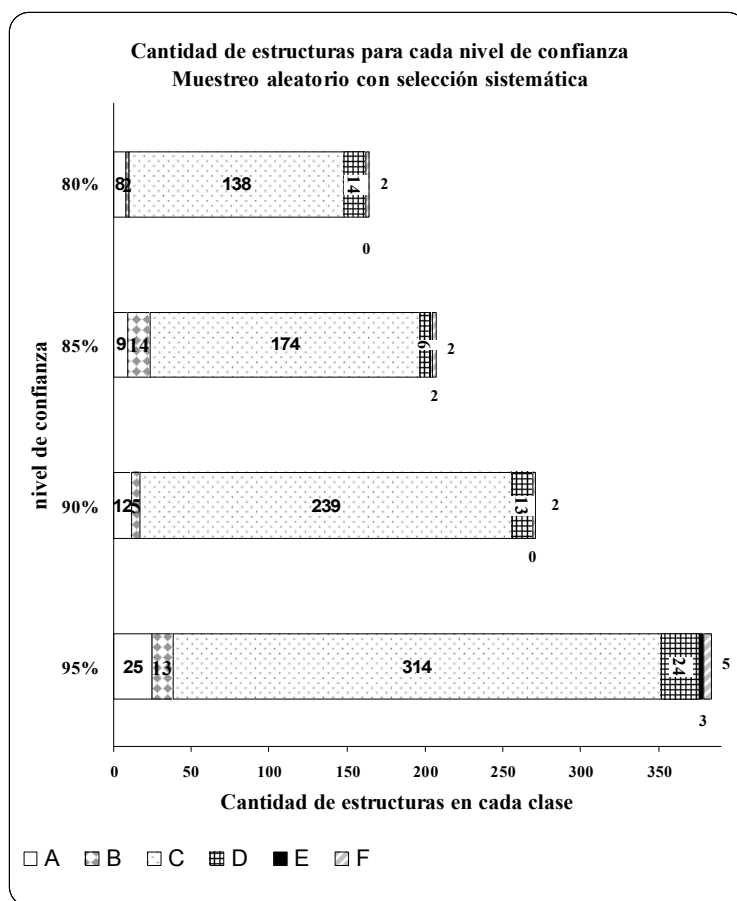


Figura 5.7. Cantidades de estructuras de diferentes clases de vulnerabilidad obtenidas en un muestreo aleatorio con selección sistemática a diferentes niveles de confianza.

Las figuras 5.8 y 5.9 presentan la cantidad de estructuras de cada clase de vulnerabilidad para diferentes niveles de confianza, en la Figura 5.8 las cantidades para muestreos por conglomerados y la Figura 5.9 para muestreos aleatorios simples.

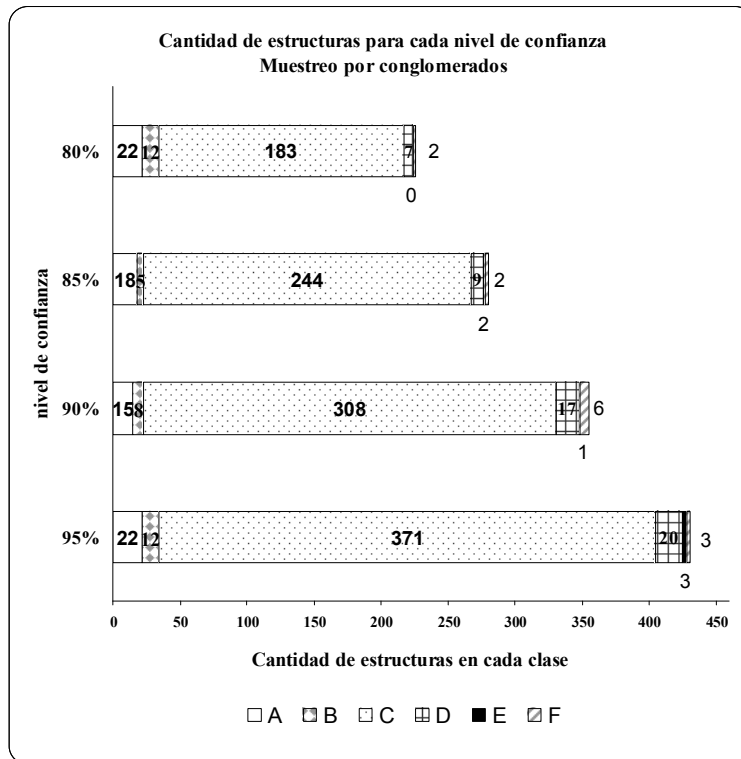


Figura 5.8. Cantidades de estructuras de diferentes clases de vulnerabilidad obtenidas en un muestreo por conglomerados a diferentes niveles de confianza.

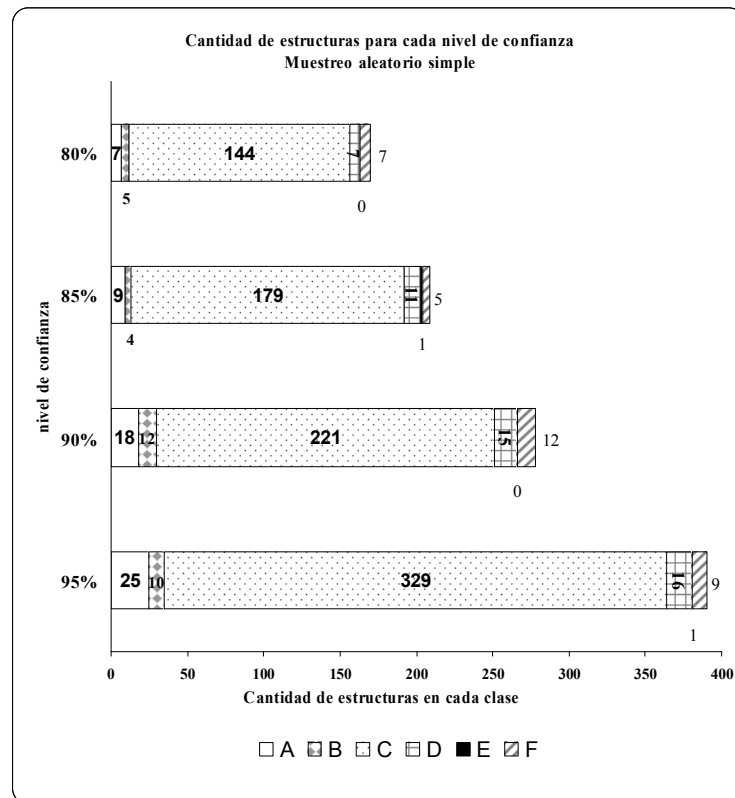


Figura 5.9. Cantidades de estructuras de diferentes clases de vulnerabilidad obtenidas en un muestreo aleatorio simple a diferentes niveles de confianza.

5.3.- EVALUACIONES ESTADÍSTICAS DE LAS VARIABLES

Se presentan los valores obtenidos del análisis de cada uno de los tipos de muestreo y de niveles de confianza para la variable “Clase de vulnerabilidad”, los cuales fueron comparados con la población con la finalidad de observar e identificar el tipo de muestreo y el nivel de confianza más representativo. Estos resultados se presentan en las tablas siguientes, en donde la Tabla 5.8, indica la cantidad de estructuras que fueron registradas con las diferentes clases de vulnerabilidad de la A a la F, así como la proporción de cada clase de vulnerabilidad en relación al total de estructuras en la población.

Las tablas 5.9 a 5.11 corresponden a la tabla de frecuencias para la variable “Clase de Vulnerabilidad”, de cada uno de los muestreos, para un nivel de confianza del 95%. De igual forma, en las tablas 5.12 a 5.14, 5.15 a 5.17 y 5.18 a 5.20, se pueden observar las frecuencias obtenidas para niveles de confianza de 90%, 85% y 80% respectivamente, así como las proporciones en relación al total de cada muestra. En la columna “valor p” de cada una de las tablas, se presenta el valor del estadístico p, que resulta de la prueba de hipótesis para la diferencia entre la proporción observada en la población y la de cada muestra.

Tabla 5.8. Frecuencias para la variable “Vulnerabilidad” en la población

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
A	67	0.0513
B	42	0.0322
C	1111	0.8507
D	60	0.0459
E	7	0.0054
F	19	0.0145
TOTAL	1306	

Tabla 5.9 Resumen de frecuencias y valor p para muestreo sistemático al 95% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	25	0.0651	0.2947
B	13	0.0339	0.8690
C	314	0.8177	0.1180
D	24	0.0625	0.1881
E	3	0.0078	0.5907
F	5	0.0130	0.8269
TOTAL	384		

Tabla 5.10. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo por conglomerados al 95% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	22	0.0510	0.9805
B	12	0.0278	0.6482
C	371	0.8608	0.6074
D	20	0.0464	0.9657
E	3	0.0070	0.7033
F	3	0.0070	0.2268
TOTAL	431		

Tabla 5.11. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo aleatorio simple al 95% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	25	0.0651	0.2946
B	10	0.0260	0.5417
C	329	0.8568	0.7679
D	16	0.0417	0.7223
E	1	0.0026	0.4891
F	3	0.0078	0.306
TOTAL	384		

En las tablas 5.9 a 5.11 se observa que no existe algún valor de p menor al nivel de significancia $\alpha = 0.05$ que corresponde a un nivel de confianza del 95%, lo cual indica que los tres tipos de muestreo a este nivel de confianza, representan significativamente a la población.

Tabla 5.12. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo sistemático al 90% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	12	0.0443	0.6297
B	5	0.0185	0.2271
C	239	0.8819	0.1826
D	13	0.048	0.8849
E	0	0	0.2271
F	2	0.0074	0.3488
TOTAL	271		

Tabla 5.13. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo por conglomerados al 90% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	15	0.0423	0.4877
B	8	0.0225	0.3431
C	308	0.8676	0.4235
D	17	0.0479	0.8737
E	1	0.0028	0.5316
F	6	0.0169	0.7416
TOTAL	355		

Tabla 5.14. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo aleatorio simple al 90% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	18	0.0664	0.3164
B	12	0.0443	0.3191
C	221	0.8155	0.1455
D	15	0.0554	0.5036
E	0	0.0000	0.2271
F	5	0.01845	0.6241
TOTAL	271		

En la Tabla 5.12, se observa que esta muestra, no registró ninguna estructura con vulnerabilidad clase E, sin embargo el valor de p , no es menor al nivel de significancia $\alpha = 0.1$. Esto se debe a que en la población, fueron observadas únicamente 7 estructuras en esta clase de vulnerabilidad, lo que disminuye la posibilidad de que sean muestreadas. Esto ocurre también en otros muestreos, como se puede observar en las tablas 5.18 y 5.19 que pertenecen a muestras tomadas al 80% de confianza.

Tabla 5.15. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo sistemático al 85% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	9	0.0435	0.6331
B	14	0.0676	0.0122
C	174	0.8406	0.7059
D	6	0.029	0.2685
E	2	0.0097	0.4563
F	2	0.0097	0.5829
TOTAL	207		

Tabla 5.16. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo por conglomerados al 85% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	18	0.0643	0.3808
B	5	0.0179	0.2007
C	244	0.8714	0.3729
D	9	0.0321	0.3041
E	2	0.0071	0.7317
F	2	0.0071	0.3247
TOTAL	280		

Tabla 5.17. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo aleatorio al 85% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	9	0.0435	0.6331
B	4	0.0193	0.3155
C	179	0.8647	0.5976
D	11	0.0531	0.6489
E	1	0.0048	0.9122
F	3	0.0145	1.0000
TOTAL	207		

En la Tabla 5.15 se puede constatar que en la clase de vulnerabilidad B, el valor de p es menor al nivel de significancia, $\alpha = 0.15$, esto indica que para este muestreo, la diferencia entre las proporciones es significativa, pero debido a que el valor de p es menor solo en una clase de vulnerabilidad, se considera el valor de p obtenido, como un indicio de que este muestreo comienza a dejar de ser representativo, aunque podría aplicarse.

Tabla 5.18. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo sistemático al 80% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	8	0.0488	0.8899
B	2	0.0122	0.1572
C	138	0.8415	0.7553
D	14	0.0854	0.0295
E	0	0.0000	0.3473
F	2	0.0488	0.8108
TOTAL	164		

Tabla 5.19. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo por conglomerados al 80% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	22	0.0973	0.0062
B	12	0.0531	0.115
C	183	0.8097	0.1165
D	7	0.0310	0.3096
E	0	0.0000	0.2699
F	2	0.0088	0.4963
TOTAL	226		

Tabla 5.20. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo aleatorio al 80% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	7	0.0427	0.6342
B	5	0.0305	0.9087
C	144	0.8780	0.3499
D	7	0.0427	0.8504
E	0	0.0000	0.3473
F	1	0.0061	0.3785
TOTAL	164		

En la Tabla 5.18 se observa que para las clases de vulnerabilidad B y D, los valores p son menores a 0.20, además, en la Tabla 5.19 para un muestreo por conglomerados, los valores de p para las clases de vulnerabilidad A, B y C, son menores a 0.20. Dados estos resultados, se puede concluir que estas muestras no son representativas de la población. Así, niveles de significancia menores a los aquí contemplados, también resultarán poco representativos.

5.4.- PRUEBAS DE INDEPENDENCIA ENTRE VARIABLES

En este caso también se realizaron las pruebas de independencia entre diferentes variables y la “Clase de vulnerabilidad”. En la Tabla 5.21 presenta los valores obtenidos, donde se observa que las variables “Sistema de piso”, “Regularidad en planta” y “Regularidad vertical” resultan independientes, es decir, que el resultado de la prueba, proporciona una evidencia de que estas variables no intervienen en la clase de vulnerabilidad de una estructura, por lo que es importante la revisión de los criterios que fueron tomados en el análisis de estas variables para la asignación de la clase de vulnerabilidad, ya que cada una de ellas, deberían estar relacionada con la vulnerabilidad de las estructuras en la población, según los criterios que se consideran al realizar el levantamiento con el formato presentado en el Apéndice I.

Tabla 5.21. Prueba de independencia

Variable	χ^2_0	r	c	v	$\chi^2_{\alpha,(r-1)(c-1)}$ 0.05	Decisión
Año de construcción	76.20	6	5	20	31.41	Dependiente
Número de niveles	1306	6	9	40	44.758	Dependiente
Número de sótanos	-	6	1	-		-
Tipo de terreno	-	6	1	-		-
Uso principal	778.67	6	8	35	49.802	Dependiente
Tipo de cimentación	147.12	6	10	45	65.41	Dependiente
Material	5330.67	6	9	40	55.758	Dependiente
Tipología estructural	118.81	6	10	45	65.41	Dependiente
Sistema de piso	40.31	6	7	30	43.773	Independiente
Regularidad en planta	12.04	6	3	10	18.307	Independiente
Regularidad vertical	14.53	6	3	10	18.307	Independiente
Daños previos por sismo	203.58	6	2	5	11.07	Dependiente
Reparaciones anteriores	203.68	6	2	5	11.07	Dependiente
Grado de daño	641.81	6	6	25	37.652	Dependiente

La prueba no es aplicable para valores de r o c menores a 1. Esto ocurre en las tablas de contingencia de las variables “Número de sótanos”, que solamente presenta el parámetro “0”, es decir, ninguna estructura en la población tiene sótanos. Lo mismo para la variable “Tipo de terreno”, para la cual todas las estructuras fueron registradas en un tipo de terreno aluvial formado de gravas, arenas y limos.

5.5.- CURVAS DE FRAGILIDAD

En la Figura 5.10 se presenta en línea negra punteada, la curva de fragilidad obtenida para la población estudiada en la Ciudad de Chilpancingo, la curva continua azul corresponde a un muestreo aleatorio con selección sistemática al 95%, con un error promedio de 0.80%. Este muestreo es el que mejor representa a la población, según el análisis realizado en la sección 5.3.

Se presenta en línea naranja continua, la curva de fragilidad obtenida mediante un muestreo por conglomerados al 95% de confianza, para la que el error promedio en relación a la población es de 0.44%. Este muestreo se consideró de igual forma, representativo de la población, y es el tipo de muestreo que se aplicará a la población en Tuxtla Gutiérrez en el capítulo 8. En la Tabla 5.22 se presentan los valores correspondientes a la Figura 4.19.

De la Figura 5.10 se observa que tanto en la base de datos como en la muestra el 90% de las estructuras, aproximadamente, tienen un grado de daño cero o mayor. De acuerdo a las pruebas realizadas entre proporciones que indican que la muestra obtenida sistemáticamente a un nivel del 95% es representativa de la población, la similitud entre

las curvas corrobora los resultados, de igual forma que en la población de la Colonia Roma.

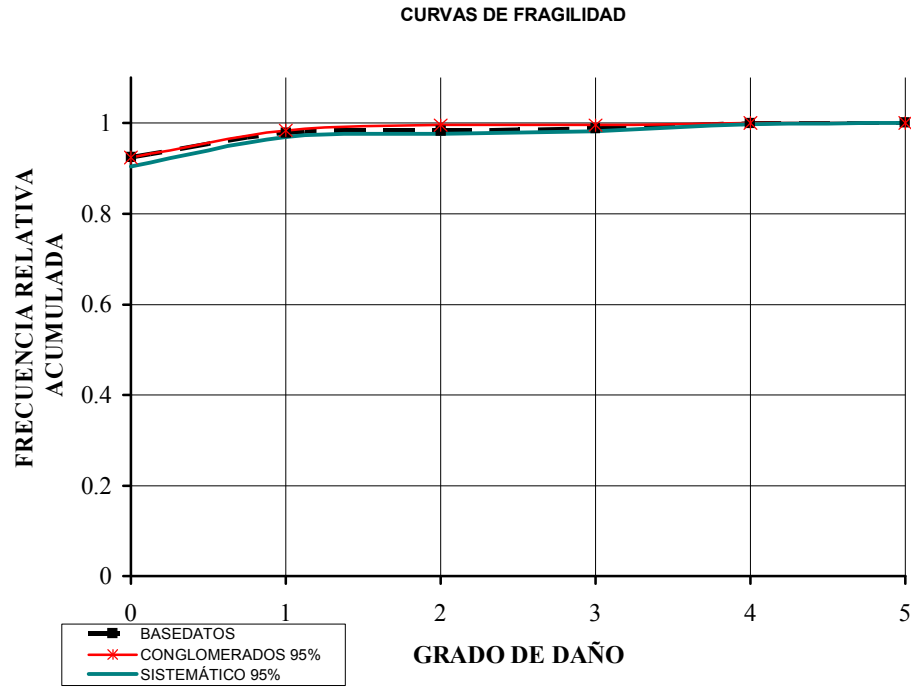


Figura 5.10. Comparación de curvas de fragilidad

Tabla 5.22. Valores correspondientes a la Figura 5.10.

Daño	POBLACIÓN		MUESTRA SISTEMÁTICO 95%		MUESTRA CONGLOMERADOS 95%	
	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
0	0.9242	0.9242	0.9036	0.9036	0.9232	0.9233
1	0.0536	0.9778	0.0651	0.9688	0.0604	0.9837
2	0.0046	0.9824	0.0078	0.9766	0.0116	0.9953
3	0.0054	0.9877	0.0052	0.9818	0	0.9953
4	0.0115	0.9992	0.0156	0.9974	0.0046	1.0000
5	0.0008	1.0000	0.0026	1.0000	0	1.0000

PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA

A partir de los análisis de las dos poblaciones estudiadas, presentadas en los capítulos cuatro y cinco, se plantea una metodología de estimación de la vulnerabilidad preliminar de un grupo de estructuras. Dicha metodología se comenta con detalle en este capítulo.

6.1.- ZONA DE ESTUDIO

La selección de la zona en estudio se define con la ayuda del conocimiento de daños previos en sismos pasados, considerando además los recursos humanos, económicos y de tiempo disponibles, pues este procedimiento implica una evaluación visual directa sobre cada estructura elegida. Es importante además, contar con la mayor cantidad de información que sea posible, ya que en base a esta se determina el esquema de muestreo a utilizar, el cual es en términos generales, una lista de las unidades de muestreo, que en este caso son las estructuras o manzanas a estudiar. Ejemplos de la información disponible sería:

- plano de la zona con información acerca de las estructuras que componen cada manzana,
- identificación de cada estructura con un número progresivo, y
- nombres de calles o avenidas para identificación.

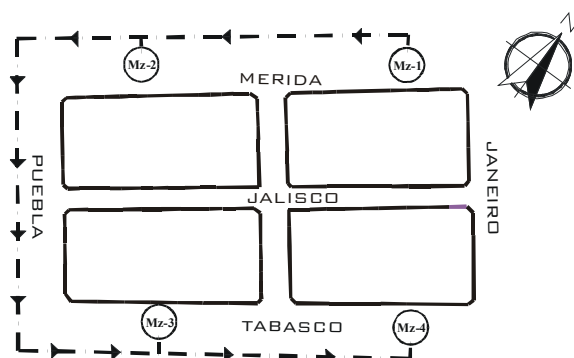


Figura 6.1. Ejemplo de la información requerida para determinar el marco de muestreo a emplear

Muchas veces se cuenta solamente con algún plano o croquis de las manzanas, sin conocer la cantidad o ubicación detallada de cada estructura dentro de las manzanas. En la Figura 6.1 se presenta un ejemplo sobre esto, y se observa que las manzanas son numeradas consecutivamente, comenzando por la esquina norte oriente del esquema y continuando hacia el poniente. Si el marco de muestreo con que se cuenta es la cantidad y ubicación detallada de las estructuras dentro de cada manzana, estas se enumeran como se puede observar en la Figura 6.2, numerando además, cada una de las manzanas según el ejemplo de la Figura 6.1.

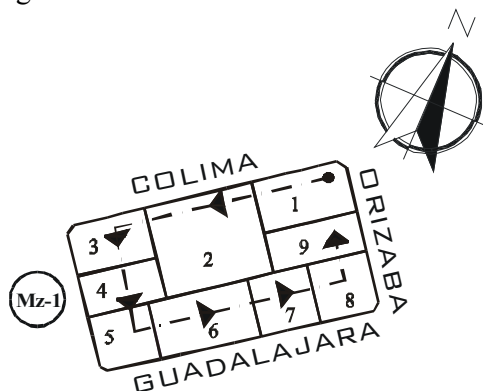


Figura 6.2. Ejemplo de la información requerida por manzana

6.2.- SELECCIÓN DEL TIPO DE MUESTREO ESTADÍSTICO

Los tipos de muestreo planteados en esta metodología corresponden a los tipos descritos de manera general en la sección 3.2; estos son: muestreo aleatorio simple, muestreo por conglomerados y muestreo aleatorio con selección sistemática, cuyas principales características para la metodología planteada son las siguientes:

Para los muestreos aleatorio simple, y aleatorio con selección sistemática, el marco de muestreo requerido es la lista de todas las estructuras que pertenecen a la población, ordenadas y numeradas según se explicó en la sección 6.1.

Por otro lado, un muestreo por conglomerados se utiliza cuando el marco de muestreo con el que se cuenta es solamente el croquis de las manzanas, debidamente numeradas. Para la obtención de este tipo de muestra, se toma como referencia la observación de un promedio de 20 estructuras por manzana, cantidad derivada de la observación de la zona estudiada en la Colonia Roma, en el capítulo 4. Esta cantidad se denota por ne , que también puede obtenerse mediante un levantamiento previo de los conglomerados elegidos, para conocer la cantidad de estructuras en cada manzana, calculándose así, el promedio, ne .

Conociendo la cantidad de manzanas, Nm , en la zona en estudio, se determina la cantidad de manzanas que tendrá un promedio de ne estructuras y que genera un tamaño de muestra, n_0 , mediante

$$x = \frac{n_0}{ne} \quad (6.1)$$

Con esta cantidad se obtiene la fracción de muestreo

$$k = \frac{Nm}{x} \quad (6.2)$$

Para continuar con el procedimiento de obtención explicado en la sección 3.2.

6.3.- LEVANTAMIENTO DE ESTRUCTURAS Y ASIGNACIÓN DEL GRADO DE DAÑO Y VULNERABILIDAD

Una vez determinado el tamaño de muestra y tipo de muestreo, el siguiente paso es el acopio de información de las estructuras o manzanas seleccionadas, aplicando la metodología presentada en la sección 2.3. Se debe tener en cuenta que la tabla que permite asignar una clase de vulnerabilidad específica a cada estructura, presentada en la Figura 2.3, debe modificarse para incluir todos los tipos de estructuras de la zona que se desee estudiar, como son los diferentes tipos de materiales, estructuración, época de construcción, tipo de terreno, o alguna otra característica que modifique la vulnerabilidad sísmica del inmueble.

6.4.- BASE DE DATOS Y ANÁLISIS DE LAS VARIABLES

Una vez obtenida la información, se elabora una base de datos digital la cual será útil para obtener fácilmente algunas conclusiones acerca de la información recabada, utilizando las técnicas de estadística descriptiva para análisis de datos categóricos. La base de datos contendrá los campos que se muestran en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2. Campos necesarios en la base de datos digital.

Número de identificación	Numero de niveles	Daños previos por sismos
Calle y numero	Numero de sótanos	Reparaciones anteriores
Entre (nombre de calle)	Tipo de terreno	Seguridad de los elementos no estructurales
Y (nombre de calle)	Uso principal	
Colonia	Tipo de cimentación	Observaciones generales
CP	Material	Clase de vulnerabilidad
Delegación	Tipología estructural	Grado de daño
Ubicación	Sistema de piso	Fotografía
Colindancias	Regularidad en planta	Manzana
Año de construcción	Regularidad vertical	

El primer análisis de la información se hará utilizando las tablas de frecuencias, consistentes en tabular los diferentes valores observados de cada variable. Estas tablas muestran la proporción o frecuencia en que los elementos muestreados se observan en cada clase de dicha variable. A partir de los parámetros de la Tabla 6.2, las variables que serán estudiadas mediante tablas de frecuencias, son las indicadas en la Tabla 6.3, las cuales se considera, son las que tienen mayor influencia en la vulnerabilidad de una estructura, de acuerdo a la metodología de asignación de vulnerabilidad.

Tabla 6.3. Variables estadísticas.

Ubicación	Uso principal	Regularidad vertical
Colindancias	Tipo de cimentación	Daños previos por sismos
Año de construcción	Material	Reparaciones anteriores
Numero de niveles	Tipología estructural	Seguridad de los elementos no estructurales
Numero de sótanos	Sistema de piso	Clase de vulnerabilidad
Tipo de terreno	Regularidad en planta	Grado de daño

6.5.- PROCEDIMIENTO DE INFERENCIA HACIA LA POBLACIÓN

El cálculo de las proporciones de las diferentes clases de vulnerabilidad en una muestra, nos permite estimar los porcentajes de clases de vulnerabilidad que deberá contener la población. Para el muestreo sistemático, se conoce el número total de estructuras existentes en la zona que se estudia, por lo que aplicando las proporciones observadas de las clases de vulnerabilidad al número total de estructuras, N , se obtienen las cantidades de estructuras en la población que tendrán las clases de vulnerabilidad A a la F. Para el muestreo por conglomerados, se toma el promedio por manzana, ne , descrito en la sección 6.2.

El siguiente paso en la inferencia consiste en generar una matriz $\mathbf{M}_{Nm \times Nmax}$, para la que Nm está definido por el número total de manzanas en la población, y $Nmax$ es la cantidad máxima de estructuras registrada en una manzana. Para esta matriz, el renglón correspondiente a la manzana con el número máximo de estructuras registradas, está compuesto solamente de números uno. En los renglones restantes, se asigna un número

uno a cada una de las estructuras de la manzana y ceros en el resto de sus elementos, hasta completar el número máximo de estructuras.

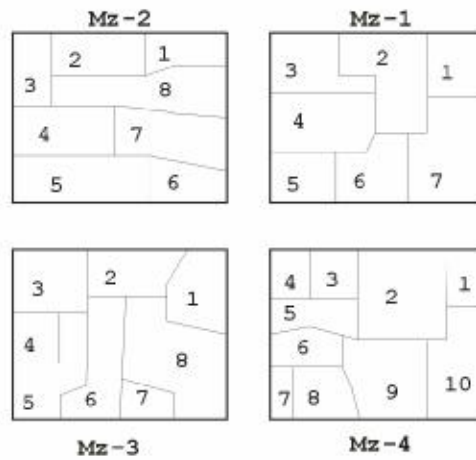


Figura 6.5. Ejemplo de población

En la Figura 6.5 se esquematiza un ejemplo de población con cuatro manzanas, para la cual se define la matriz $\mathbf{M}_{Nm \times Nmax}$ de la ecuación 6.3. Se observa que la fila uno tiene siete números “1”, que corresponden a la cantidad de estructuras que esta manzana contiene. La manzana cuatro, tiene diez estructuras, lo que corresponde al número máximo de estructuras, por lo que las manzanas con menos estructuras que esta, les incluirá números ceros hasta tener la misma cantidad de columnas que el máximo, como se puede observar en la ecuación 6.3.

$$\mathbf{M}_{Nm \times Nmax} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{Manzana 1} \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} \quad (6.3)$$

Además, se elabora una rutina en un lenguaje de programación, que permita generar números aleatorios entre uno, que corresponde a la clase de vulnerabilidad A, y seis, que corresponde a la vulnerabilidad clase F, con las proporciones indicadas por la tabla de frecuencias de la variable “Clase de vulnerabilidad”, obtenida en el muestreo. Estos números integran la matriz $\mathbf{MV}_{Nm \times Nmax}$, del mismo orden que $\mathbf{M}_{Nm \times Nmax}$.

Se obtiene el producto elemento a elemento de las matrices $\mathbf{M} = \{\mathbf{a}_{i,j}\}$ y $\mathbf{MV} = \{\mathbf{b}_{i,j}\}$, $\mathbf{MV} \times \mathbf{M}$, llamado producto de Hadamard (Searle, 1982), el cual está definido para matrices del mismo orden. Esta operación permite integrar los números aleatorios de la matriz $\mathbf{MV}_{Nm \times Nmax}$, a la matriz \mathbf{M} , que contiene simbólicamente a las estructuras.

Este procedimiento permite conocer una de las posibles distribuciones espaciales de las estructuras inferidas, mediante la generación de mapas que contendrán, de acuerdo a la

matriz $\mathbf{MV} \times \mathbf{M}$, las proporciones de las clases de vulnerabilidad en la población que puedan señalar la estrategia a seguir por planes de gobierno, por ejemplo, para conocer la cantidad de estructuras que necesitan ser reforzadas, reparadas o demolidas; o en su caso, asumir el riesgo futuro y desarrollar planes de emergencia.

Este trabajo propone también, el uso del método del índice de vulnerabilidad, el cual se plantea a partir de las variables especificadas en la base de datos obtenida a partir de la muestra. Para estas variables, se identifican los parámetros que son más importantes en cuanto al control del daño en edificios causados por acciones sísmicas, y se asignan calificaciones individuales sobre una escala numérica, sobre el grado de vulnerabilidad asociado, denominados k_i . Los parámetros seleccionados son afectados por un factor de peso, w_i , que enfatiza la importancia de la variable. Estos valores, k_i y w_i , son asignados en base a un juicio de expertos. La escala de valores generada en este trabajo, proporciona valores similares a los definidos por Benedetti y Petrini en 1984 (Yépez Moya, 1996), sin corresponder a la misma escala, pero si a la misma nomenclatura de importancia para cada variable y para cada parámetro dentro de estas. Por ejemplo, la escala numérica del índice de vulnerabilidad de Benedetti y Petrini indica que para la variable “Tipo de cubierta”, $w_i=1.0$ y para “Configuración en planta” $w_i=1.0$. Para las variables equivalentes en este trabajo se tiene “Sistema de piso” $w_i=0.07$ y para “Regularidad en planta” $w_i=0.07$. Se agregaron las variables y sus correspondientes pesos, w_i , en los casos en que no se tiene una correspondencia con la Escala de Benedetti y Petrini.

Se propone evaluar la escala de importancia, k_i , para cada uno de los parámetros dentro de cada variable, mediante el siguiente criterio:

- 1 Bueno
- 2 Malo
- 3 Muy malo

“Bueno” corresponde a una característica de la estructura con la que se tiene una estructura poco vulnerable. “Malo” corresponde a una característica que aumentaría la vulnerabilidad de una estructura, y “Muy malo” se trata de algún parámetro que influye directamente en la vulnerabilidad de la estructura, aumentando su fragilidad.

Una vez obtenidas las calificaciones de cada uno de los parámetros de cada estructura en la muestra obtenida, se procede a asignar un valor numérico global o índice de vulnerabilidad, a través del cual, los valores son acumulados ponderadamente mediante

$$I_v = \sum_{i=1}^q (k_i w_i) \quad (6.4)$$

donde q , es la cantidad de parámetros analizados en cada estructura obtenida en la muestra, y que influyen directamente en su vulnerabilidad. Como se deduce de la ecuación 6.4, los posibles valores del índice de vulnerabilidad crecen conforme el edificio se muestra sísmicamente más vulnerable, por lo que este valor es de mucha utilidad al identificar los edificios con capacidad sísmica reducida, y puede ser aplicado en la toma de decisiones de cualquier plan de mitigación del riesgo en la zona en estudio.

En el procedimiento de inferencia, el uso de los índices de vulnerabilidad permite conocer las características de las estructuras inferidas con cierta clase de vulnerabilidad; por ejemplo, para una estructura con vulnerabilidad clase A, se tiene cierto rango de valores del índice de vulnerabilidad, que están asociados por su origen, a las características estructurales presentes en la muestra, por lo que se puede aproximar el tipo de estructuración o material que tienen las estructuras inferidas a las analizadas en la muestra, con la misma clase de vulnerabilidad, permitiendo posteriormente, obtener costos posibles en la reparación o pérdida de estas.

Tabla 6.4. Valores límite del índice de vulnerabilidad

CLASE	FRECUENCIA RELATIVA ACUMULADA	%	%p PERCENTIL MUESTRAL	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD	
				Mínimo	Máximo
F	F_1	$100 \times F_1$	$(100 \times F_1)p$	1.0	$(100 \times F_1) p$
E	$F_1 + F_2$...			
D	$F_1 + F_2 + F_3$...			
C			
B			
A	$F_1 + \dots + F_6$	$100 \times (F_1 + \dots + F_6)$			$(100 \times (F_1 + \dots + F_6))p$

Una vez obtenidos los índices de vulnerabilidad de la muestra, se obtienen los valores mínimos y máximos que éste puede tomar. Para establecer los rangos del índice de vulnerabilidad que están dentro de una clase de vulnerabilidad específica, se parte de la tabla de frecuencias “clase de vulnerabilidad”, en donde la “frecuencia relativa acumulada” de cada clase de vulnerabilidad, se toma como porcentaje, %. Se obtiene así, el *np percentil* muestral con ese porcentaje, es decir, el *%p percentil* muestral; el valor resultante corresponde al límite superior del rango que determina una clase de vulnerabilidad. Esto se explica en la Tabla 6.4, en donde para la clase de vulnerabilidad F, se obtiene el $(100 \times F_1) p$ percentil muestral, el cual señala el valor máximo que tomará el índice de vulnerabilidad, y que define una estructura con clase de vulnerabilidad F.

Obtenidos dichos rangos, se generan números aleatorios entre esos rangos, que serán asignados a cada estructura inferida, con la clase de vulnerabilidad correspondiente. Por ejemplo, se localizan dentro de la matriz $\mathbf{MV} \times \mathbf{M}$, las estructuras que tienen clase de vulnerabilidad F, para asignarles los números aleatorios generados dentro de su correspondiente rango del índice de vulnerabilidad.

INFERENCIA: EJEMPLOS DE APLICACIÓN.

7.1 COLONIA ROMA

Se presentan en la Tabla 7.1, las cantidades de estructuras inferidas mediante un muestreo sistemático al 95% de confianza, cuyo tamaño de muestra, n_o , así como el tamaño total de la población, N , están indicados. Para la clase de vulnerabilidad B, se tienen 111 estructuras, lo que corresponde a un 0.3083 como proporción en relación a la cantidad total de estructuras en la muestra, que para este caso es de 360. Si se aplica esta proporción a la cantidad total de estructuras que incluye las no muestreadas $N = 1439$, se obtiene una cantidad estimada de 444 estructuras de clase de vulnerabilidad B en la población, como se observa en la última columna de la Tabla 7.1. El total de estructuras estimadas es de 1439, que corresponde al tamaño de la población, N .

Tabla 7.1. Cantidades inferidas para un muestreo sistemático al 95% de confianza.

Clase de vulnerabilidad	Frecuencias Muestreo sistemático 95% $n_o = 384$		Cantidades requeridas en la población $N = 1439$
	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	
A	35	0.0972	140
B	111	0.3083	444
C	164	0.4556	655
D	38	0.1056	152
E	3	0.0083	12
F	9	0.0250	36
TOTAL	360		1439

En la Figura 7.1 se presenta un croquis que compara las clases de vulnerabilidad obtenidas de acuerdo a la Tabla 7.1. A la izquierda se observan seis manzanas con diferentes clases de vulnerabilidad obtenidas durante el censo total que se realizó en la zona, y las manzanas de la derecha muestran las vulnerabilidades inferidas con esta metodología. Se observa que para una misma estructura no se tiene la misma clase de

vulnerabilidad, pero los porcentajes son similares, lo que por ejemplo ayudaría a generar presupuestos para refuerzo de estructuras.

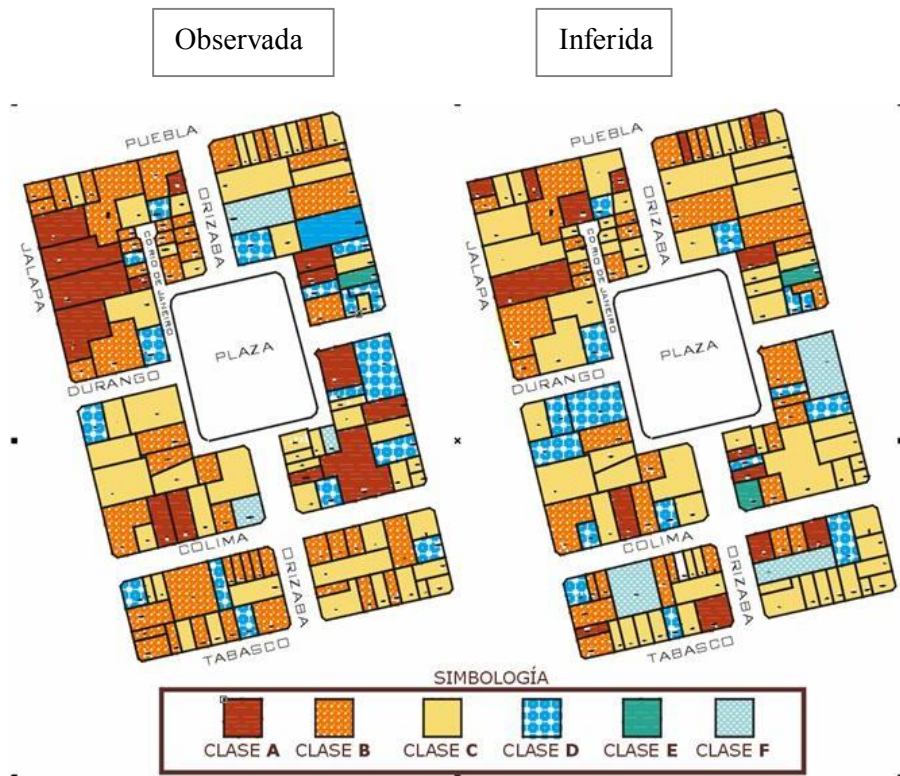


Figura 7.1. Vulnerabilidad observada (Izquierda), vulnerabilidad inferida (Derecha).

Una vez obtenidos los índices de vulnerabilidad de toda la muestra, se obtuvieron los correspondientes índices para las estructuras inferidas mediante el procedimiento descrito en la sección 6.5. Se presenta en la Tabla 7.2, los intervalos del índice de vulnerabilidad que genera cada una de las clases de vulnerabilidad. Por ejemplo, una estructura inferida que tiene un índice de vulnerabilidad de 3.20, le corresponde una clase de vulnerabilidad B.

Tabla 7.2. Rangos del índice de vulnerabilidad

CLASE	FRECUENCIA RELATIVA	FRECUENCIA RELATIVA ACUMULADA	%	n_p PERCENTIL MUESTRAL	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD		FRECUENCIAS OBTENIDAS
					MÍNIMO	MÁXIMO	
F	0.0250	0.0250	2.50	1.81	1	1.80	9
E	0.0083	0.0333	3.33	2.23	1.81	2.23	3
D	0.1056	0.1389	13.89	2.63	2.24	2.63	45
C	0.4556	0.5945	59.45	3.175	2.64	3.18	160
B	0.3083	0.9028	90.28	3.49	3.19	3.50	110
A	0.0972	1	100		3.51	>	33
TOTAL							360

La columna “Frecuencias obtenidas” de la Tabla 7.2, indica los totales de cada clase de vulnerabilidad que se obtienen al calificar nuevamente a la muestra, se esperarí

los totales idénticos a los muestreados, que se pueden observar en la columna de frecuencias absolutas de la Tabla 7.1. Las diferencias se han considerado aceptables, y son debidas a los valores límite máximo y mínimo de los rangos del índice de vulnerabilidad.

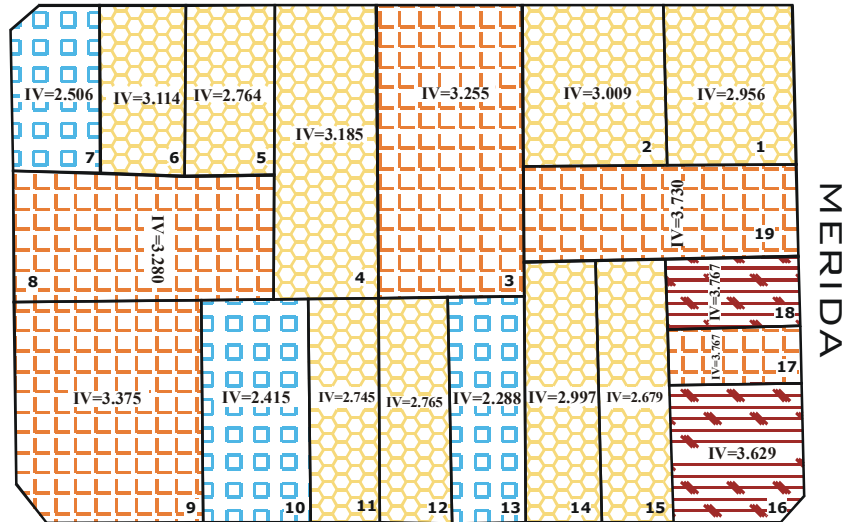


Figura 7.2. Índices de vulnerabilidad inferidos en una manzana.

En la Figura 7.2 se muestra una de las manzanas inferidas. La estructura siete de esta manzana tiene un índice de vulnerabilidad inferido, IV=2.506. En el futuro se deberán definir las características de la estructura inferida, mediante las características de sistemas con índices de vulnerabilidad similares, por ejemplo, en la muestra se tienen dos estructuras con una clase de vulnerabilidad que se aproxima al de la estructura 7. La primera es una estructura con un IV=2.495, que es una estructura construida después de 1985, con uso principal en educación y estructurada a base de marcos con muros de tabique y sistema de piso de losa maciza. La segunda, con un índice de vulnerabilidad IV=2.535, construida después de 1985, con uso principal de casa habitación, construida con mampostería reforzada y un sistema de piso de losa maciza. Las características de estas dos estructuras pueden dar una aproximación de los parámetros que una estructura inferida tendrá.

Se analizó también, otro esquema de inferencia, denominado procedimiento II, en el cual cada una de las estructuras, incluyendo sus características, se repite cierta cantidad de veces. Se presenta en la Tabla 7.3 las cantidades de estructuras con este procedimiento. Para la clase de vulnerabilidad A, aplicando la proporción correspondiente a la cantidad total de estructuras, se obtiene un total de 140 estructuras en la población con esta clase de vulnerabilidad. Como se observa en la columna “Frecuencia absoluta”, existen 35 estructuras con diferentes características cada una que tienen esta clase de vulnerabilidad; se considera entonces que una misma estructura se repetirá $\frac{140}{35} \approx 4$ veces en la población. El total de estructuras estimadas es de 1440.

Tabla 7.3. Cantidades inferidas con el procedimiento II para un muestreo sistemático al 95% de confianza.

Clase de vulnerabilidad	Frecuencias Muestreo sistemático 95% $n_o = 384$		Cantidades requeridas en la población $N=1439$	Cantidad de veces que una estructura se repite
Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa		
A	35	0.0972	140	$140/35 \approx 4$
B	111	0.3083	444	$444/111 \approx 4$
C	164	0.4556	655	$655/164 \approx 4$
D	38	0.1056	152	$152/38 \approx 4$
E	3	0.0083	12	$12/3 \approx 4$
F	9	0.0250	36	$36/9 \approx 4$
TOTAL	360		1439	1440

Realizando la inferencia mediante un muestreo por conglomerados al 95% de confianza se obtienen las cantidades mostradas en la Tabla 7.4.

Tabla 7.4. Cantidades inferidas de un muestreo por conglomerados al 95% de confianza

Clase de vulnerabilidad	Frecuencias Muestreo por conglomerados al 95% $n_o = 384$		Cantidades requeridas en la población $N = 1439$
	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	
A	31	0.0793	114
B	114	0.2916	420
C	194	0.4962	714
D	42	0.1074	154
E	3	0.0077	11
F	7	0.0179	26
TOTAL	391		1439

Aplicando el procedimiento de inferencia II, se obtienen los resultados de la Tabla 7.5, mediante un muestreo por conglomerados al 95% de confianza. Se observa de esta tabla, que la cantidad total de estructuras estimadas es de 1564, que resulta mayor a la cantidad de estructuras en la población, $N=1439$. Esto se debe a dos cosas. La primera es debido al redondeo al número entero inmediato superior aplicado en la columna cuatro de esta tabla. Segundo, debido al tipo de muestreo que se tomó para realizar la estimación, ya que por el muestreo por conglomerados, fueron muestreadas siete estructuras más de lo que el tamaño de muestra $n_o = 384$ señala, como se indica en el total de la columna "Frecuencia absoluta" de la tabla 7.5. Mientras la diferencia entre el número de estructuras muestreadas y el tamaño de muestra calculado, sea mayor, este afectará al cociente calculado en la columna cuatro.

Por esta razón, en la estimación realizada mediante el procedimiento II, presentada en la Tabla 7.3, que se tomó de un muestreo aleatorio con selección sistemática, la diferencia entre la cantidad total estimada y la cantidad total de estructuras en la población, es solo de una estructura. Esto sucedería igualmente para un muestreo aleatorio simple.

Tabla 7.5. Cantidades inferidas con el procedimiento II, para un muestreo por conglomerados al 95% de confianza

Clase de vulnerabilidad	Frecuencias Muestreo sistemático 95% $n_o = 384$		Cantidades requeridas en la población $N=1439$	Cantidad de veces que una estructura se repite
Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa		
A	31	0.0793	114	$114/31 \approx 4$
B	114	0.2916	420	$420/114 \approx 4$
C	194	0.4962	714	$714/194 \approx 4$
D	42	0.1074	154	$154/42 \approx 4$
E	3	0.0077	11	$11/3 \approx 4$
F	7	0.0179	26	$26/7 \approx 4$
TOTAL	391		1439	1564

7.2 CHILPANCINGO, GUERRERO

De acuerdo a los resultados de los análisis de esta población presentados en el capítulo cinco, se muestra en la Tabla 7.6 la cantidad de estructuras inferidas mediante un muestreo sistemático al 95%. Las clases de vulnerabilidad A, B y C, de esta muestra, se presentan en la Figura 7.3.

Tabla 7.6. Cantidades inferidas mediante un muestreo sistemático al 95%.

Clase de vulnerabilidad	Frecuencias Muestreo aleatorio con selección sistemática 95% $n_o = 384$		Cantidades requeridas en la población $N = 1306$
	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	
A	25	0.0651	85
B	13	0.0339	44
C	314	0.8177	1068
D	24	0.0625	82
E	3	0.0078	10
F	5	0.0130	17
TOTAL	384		1306



Figura 7.3. Vulnerabilidades A, B y C en el muestreo sistemático al 95%.

Se presenta en la Tabla 7.7, las clases de vulnerabilidad obtenidas mediante los rangos del índice de vulnerabilidad derivados del análisis de la muestra. Se observa que las frecuencias obtenidas para cada clase de vulnerabilidad, difieren de las encontradas en la muestra que han sido presentadas en las frecuencias absolutas de la Tabla 7.6. Esta diferencia se ha considerado como aceptable, ya que es muy pequeña.

Tabla 7.7. Rangos del índice de vulnerabilidad

CLASE	FRECUENCIA RELATIVA	FRECUENCIA RELATIVA ACUMULADA	%	n_p PERCENTIL MUESTRAL	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD		FRECUENCIAS OBTENIDAS
					MÍNIMO	MÁXIMO	
F	0.0130	0.0130	1.30	2.2412	1	2.214	4
E	0.0078	0.0208	2.08	2.3850	2.215	2.385	4
D	0.0625	0.0833	8.33	2.6463	2.386	2.646	33
C	0.8177	0.9010	90.10	3.3653	2.647	3.365	303
B	0.0339	0.9349	93.49	3.4979	3.366	3.498	18
A	0.0651	1.0000	100.0	3.9140	3.499	>	22
TOTAL							384

La Figura 7.4 presenta el croquis de manzanas con cantidades de estructuras inferidas con clases de vulnerabilidad A, B y C, en donde se observa que la mayoría de estructuras en cada manzana tienen una clase de vulnerabilidad C, como se estimó.



Figura 7.4. Clases A, B y C de vulnerabilidad inferida.

Aunque los resultados del análisis de esta población presentados en el capítulo 5, indican que el muestreo más adecuado es un muestreo sistemático al 95%, se presenta en la Tabla 7.8 la cantidad de estructuras inferidas mediante un muestreo por conglomerados al 95% de confianza, esto se realiza con la finalidad de conocer el comportamiento de una estimación de este tipo, ya que éste se aplicó a la población en Tuxtla Gutiérrez, como se verá en el siguiente capítulo.

Tabla 7.8. Cantidades requeridas en la población

Clase de vulnerabilidad	Frecuencias Muestreo conglomerados 95% $n_o = 384$		Cantidades requeridas en la población $N = 1306$
	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	
A	22	0.0510	67
B	12	0.0278	36
C	371	0.8606	1124
D	20	0.0464	61
E	3	0.0070	9
F	3	0.0070	9
TOTAL	431		1306

Los resultados de la Tabla 7.8 muestran que para la clase de vulnerabilidad A, se tienen 22 estructuras en el muestreo por conglomerados al 95% de confianza, lo que corresponde a un 0.051 como proporción. Si se aplica esta proporción a la cantidad total de estructuras en la población, que incluye las no muestreadas $N=1306$, se obtiene 67 estructuras inferidas de clase de vulnerabilidad B.

En la Tabla 7.9 se presentan las cantidades estimadas mediante un muestreo por conglomerados al 95%, aplicando el procedimiento II. Se observa que la cantidad total de estructuras estimadas es de 1293, que resulta menor a la cantidad de estructuras en la población, $N=1306$, que como ya se explicó, se debe al redondeo realizado, que en este caso fue al número entero inmediato inferior.

Tabla 7.9. Cantidad de estructuras para inferencia II

Clase de vulnerabilidad	Frecuencias Muestreo conglomerados 95% $n_o = 384$		Cantidades requeridas en la población $N=1306$	Cantidad de veces que una estructura se repite
Clase	Frecuencia	Frecuencia relativa		
A	22	0.0510	67	$67/22=3$
B	12	0.0278	36	$36/12=3$
C	371	0.8606	1124	$1124/371=3$
D	20	0.0464	61	$61=20=3$
E	3	0.0070	9	$9/3=3$
F	3	0.0070	9	$9/3=3$
TOTAL	431		1306	1293

APLICACIÓN DEL MÉTODO PROPUESTO EN TUXTLA GUTIÉRREZ CHIAPAS

8.1. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL ESTADO.

Tuxtla Gutiérrez pertenece a la provincia tectónica del Sinclinorio Central, que colinda con la provincia del Anticlinorio de Comalapa, al sureste; al norte con la provincia de Fallas de Transcurrencia y al suroeste con el Macizo Granítico. El Sinclinorio Central coincide con la región fisiográfica denominada Depresión Central, debido a que está integrada por un bajo topográfico, producto de la morfología del Sinclinal Grijalva, estructura central y rectora de la provincia. En la Figura 8.1 se observan los límites de las provincias tectónicas mencionadas.



Figura 8.1. Regiones tectónicas de Chiapas. (Alonso et al., 1995)

A principios del cuaternario, en el valle de Tuxtla Gutiérrez se depositaron sedimentos clásticos continentales, producto de la erosión de rocas. Los últimos acontecimientos geológicos son los que representan los depósitos aluviales depositados a lo largo del río Sabinal, que corre de poniente a oriente a lo largo de la ciudad, hasta desembocar en el Cañón del Sumidero.

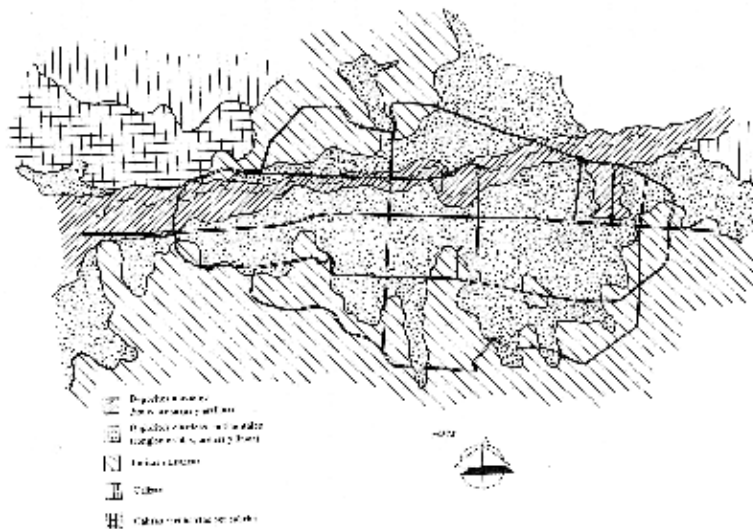


Figura 8.2. Mapa geológico de Tuxtla Gutiérrez. (Alonso et al., 1995)

En la ciudad pueden identificarse morfológicamente tres zonas, las cuales se presentan en la Figura 8.2:

- al norte, una zona de pendiente fuerte en donde existe un marcado desarrollo urbano
- al sur y sur oriente, una zona de pendiente suave en donde se localizan la mayoría de las construcciones modernas.
- Al centro, una zona casi plana constituida de terrenos aluviales.

La zona elegida para analizar su vulnerabilidad sísmica, está ubicada en la zona centro, para la cual se ha considerado tener un terreno firme, excepto para las manzanas número cinco a la diez, en donde el río Sabinal las separa en dos bloques, en donde se consideró terreno aluvial.

8.1.1. CARACTERÍSTICAS SISMOLÓGICAS DEL LUGAR.

Chiapas forma parte de la Trinchera Mesoamericana, que va desde el Golfo de California a lo largo de la costa del pacífico, continuando hacia Centro y Sudamérica hasta Tierra de Fuego. A lo largo de toda la trinchera, la actividad en México es más bien somera, alcanzando solamente profundidades máximas de menos de 300km. La mayor parte de los sismos destructivos que ocurren en México se producen en esta trinchera, ocurriendo aparentemente en las zonas donde es menor el echado de la placa subducida y ésta es más joven, (Nava, 1998)

El sur de Chiapas se encuentra dentro de la placa del Caribe. Esta pequeña placa contiene a gran parte de las islas caribeñas y los países de Centro América. Otras dos pequeñas placas oceánicas conforman el rompecabezas tectónico de México, Cocos y Rivera. Estas dos placas son oceánicas y se encuentran bajo el océano Pacífico. Las placas de Rivera y Cocos chocan con la placa Norteamericana a lo largo de la Fosa Mesoamericana produciéndose una compresión. La placa del Caribe se mueve hacia el este respecto a la de Norteamérica, a lo largo del sistema de fallas Polochic-Motagua. El

movimiento entre estas dos placas es *transcurrente*, al igual que el movimiento entre la del Pacífico y la de Norteamérica en el Norte de Baja California. La placa del Pacífico se mueve hacia el noroeste respecto a Norteamérica. Este movimiento también genera zonas de *extensión* entre las placas del Pacífico y Norteamérica bajo el Mar de Cortés. Entre las placas del Pacífico y Rivera y entre las de Pacífico y Cocos también se dan movimientos de extensión y transversos.

La carta sísmica de Chiapas (Figueroa, 1974), señala que toda la superficie del estado se encuentra bajo la influencia de focos activos continentales y submarinos, donde se han generado sismos débiles y fuertes, incluso macrosismos. Según la carta sísmica, la mayor concentración de epicentros se observan en la región limítrofe con Guatemala y frente a las costas del Pacífico, y se considera que luego de Oaxaca, Jalisco y Guerrero, Chiapas ocupa el cuarto lugar en energía liberada.

Dentro de la lista de macrosismos que han afectado al Estado desde 1729 a 1973, se presentan en la Tabla 8.1, los que han repercutido en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, así como en otras poblaciones citadas en la columna seis.

Tabla 8.1. Sismos importantes en Tuxtla Gutiérrez.

AÑO	MES	DÍA	MAGNITUD	INTENSIDAD	Zonas afectadas
1729				VIII	Abarcó al estado de Chiapas y se extendió a Guatemala
1887	8	1		VII	Tonalá, San Cristóbal y otras poblaciones
1902	9	23	7.8	X	Este es el mas importante originado en Chiapas. Fue destructor de Venustiano Carranza y hubo graves daños en San Cristóbal, Chiapa de Corzo y Tuxtla Gutiérrez. Según isosistas se tuvieron grados VI al X en el estado. En la Ciudad de México sentido con intensidad de V.
1909	12	15	5.6	VI	Cintalapa y Tonalá. Se extendió a Tabasco.
1914	3	30	7.5	IX	Daños considerables también varios Municipios.
1927	5	9	7	VII	Muy fuerte
1935	12	14	7.3	VIII	Daños también en Municipios cercanos a Tuxtla
1937	1	11	6	VI	Chicoasén, Chiapa de Corzo, San Cristóbal y otras poblaciones
1937	5	28	6.5	VII	Daños también en Municipios cercanos a Tuxtla
1949	9	6	5.5	V	Chiapa de Corzo
1952	6	2	5	VI	Daños también en Municipios cercanos a Tuxtla
1953	1	3	5.15	V	Chiapa de Corzo y Suchiapa
1954	5	21	5.5	V	Daños también en Municipios cercanos a Tuxtla
1955	1	27	5.7	V	Chiapa de Corzo
1956	11	9	6.3	V	Abarcó a Chiapas con intensidades IV y V
1959	8	26	6.5	IV	Grados III y IV en todo Chiapas según isosistas
1965	3	1	6.4	V	Villa Flores, Villa Corzo. Grado V en Tuxtla Gutiérrez, Chiapa de Corzo y San Cristóbal las Casas.
1965	8	23	6.75	V	Abarcó a Chiapas con intensidades de III a V
1968	9	25	6	VIII	Abarcó a Chiapas con intensidades de III a VIII
1971	5	3	4.3	V	Ocozocautla
1971	5	23	4.3	IV	Cintalapa

8.2.- ZONA DE ESTUDIO

Como un primer acercamiento hacia la evaluación de la vulnerabilidad de edificios existentes en Tuxtla Gutiérrez, se han elegido las edificaciones ubicadas en la zona central de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, presentadas en la Figura 8.3.

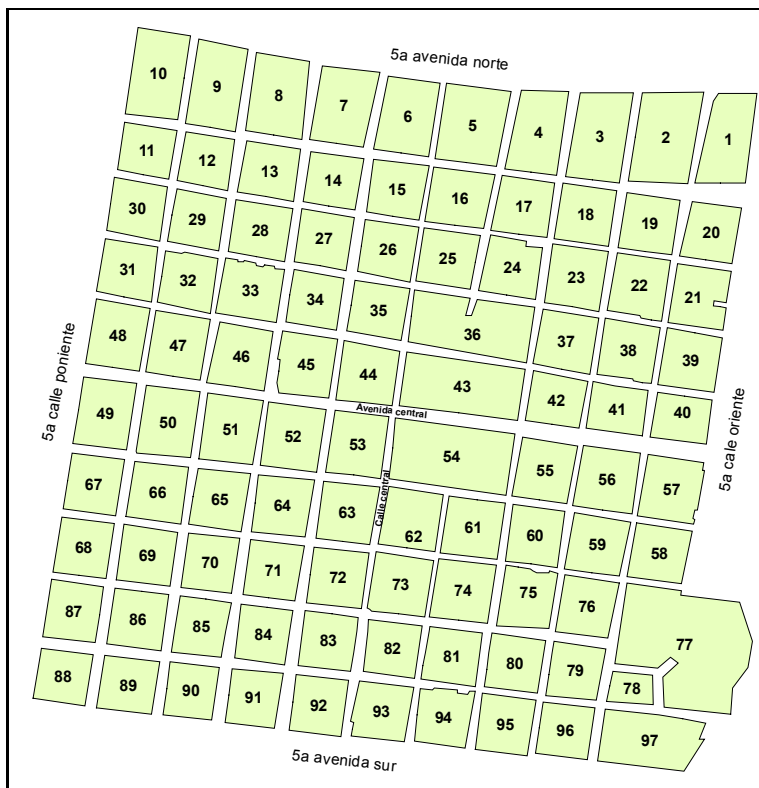


Figura 8.3. Zona de estudio ubicada en la Colonia Centro en Tuxtla Gutiérrez.

La zona de proyecto que comprende de la 5ª norte a la 5ª sur, y de la 5ª oriente a la 5ª poniente con un área de 0.89 km², que conforma la zona comercial del centro de la ciudad, además de una gran cantidad de edificaciones destinadas a casa habitación, construidas muchas de ellas con adobe, y un sistema de piso de teja, las cuales son vulnerables ante la ocurrencia de sismos.

8.3.- MUESTREO

El marco de muestreo con que se cuenta para la zona, es únicamente la lista y croquis de localización de las manzanas de la zona, por lo que se utilizó para esta zona, un muestreo por conglomerados. El nivel de confianza fue determinado por los resultados obtenidos de las poblaciones en la Colonia Roma y en Chilpancingo, que señalan que un nivel de confianza del 95% proporciona una muestra representativa. Se presenta en la Figura 8.4 las manzanas seleccionadas.



Figura 8.4. Croquis de manzanas muestreadas en la población elegida.

Las manzanas B y C, están divididas en dos partes, debido a que en su parte central corre el río Sabinal. La Tabla 8.2 presenta la cantidad de estructuras registradas durante el levantamiento, para cada una de las 25 manzanas elegidas en el muestreo, en total se tienen 589 estructuras y la cantidad máxima de estructuras registrada en una manzana es de 47. La manzana V, registró solamente una estructura, mientras que la manzana A, tiene la mayor cantidad de estructuras.

Tabla 8.2. Cantidad de manzanas y estructuras en la zona muestreada.

Manzana	Cantidad de estructuras	Manzana	Cantidad de estructuras
A	47	N	27
B	37	O	21
C	34	P	11
D	34	Q	15
E	30	R	16
F	40	S	23
G	18	T	22
H	22	U	20
I	22	V	1
J	7	W	27
K	21	X	35
L	3	Y	42
M	14		

8.4.- CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

La Tabla 8.3 presenta la tabla de frecuencias para la variable “clase de vulnerabilidad”. En el anexo V de este trabajo se pueden consultar las tablas de frecuencias para las demás variables.

Tabla 8.3.-Clases de vulnerabilidad obtenidas

Clase	Valor	Frecuencia
1	A	29
2	B	4
3	C	89
4	D	413
5	E	43
6	F	11
TOTAL		589

Dentro de las consideraciones que se tomaron para realizar el levantamiento y que requieren de un análisis más detallado para asegurar la calidad de la información, se encuentra la variable “Año de construcción”. El reglamento de construcción en este Municipio, no es considerado rigurosamente en lo relacionado a la seguridad estructural de las construcciones, por lo que la existencia del actual reglamento de construcción y el anterior del año de 1971, no fueron tomados en cuenta para representar la calidad de las construcciones. En su lugar, se consideraron los rangos en el año de construcción que son indicados en la Tabla 8.4.

Tabla 8.4.- Años de construcción considerados

Antes de 1974
Después de 1995
Entre 1974 y 1995

Para la evaluación de la edad de la estructura dentro de los rangos de la Tabla 8.4, se consideraron las características de estructuración y materiales para cada estructura, por ejemplo, una estructura de adobe sin refuerzo y techo de teja de barro, se consideró como construida antes de 1974; mientras que una estructura de varios niveles, de mampostería confinada y techo de teja de lámina, fue incluida en el rango entre 1974 y 1995, especialmente cuando se observó alguna construcción con mezcla de materiales, para la que los propietarios conservan la parte inferior de una construcción de tabique rojo y las partes superiores de tabique de concreto por ejemplo. Una estructura con arquitectura más moderna que las anteriores, de estructura de acero o de concreto reforzado, fue considerada como construida después de 1995.

En general, la determinación del año de construcción fue asignada a juicio de los entrevistadores, los cuales han sido oriundos del lugar, por lo que se considera están habituados a los sistemas constructivos en la zona.

De acuerdo al aspecto de la estructura, se asignó una mayor vulnerabilidad a las edificaciones más viejas y más deterioradas, y lo contrario en edificaciones más recientes y de una buena condición física aparente.



Figura 8.5. Croquis de ubicaciones de estructuras de uso habitacional y comercio

Se muestran algunos resultados del levantamiento realizado en las figuras 8.4 y 8.5. La información detallada de éstas se presenta en el Apéndice VI, en las tablas de contingencia, VI.17 y VI.18 respectivamente

La Figura 8.5 muestra la distribución de las 234 estructuras con uso habitacional y 183 estructuras con uso comercial que fueron registradas durante el levantamiento de la muestra. Se puede observar que existen más estructuras de uso habitacional en la zona norte, y en la zona sur se concentran las estructuras destinadas a comercio. Las estructuras destinadas a comercio están distribuidas en 23 manzanas, mientras que las destinadas a uso habitacional se distribuyen en 20 manzanas.

En la Figura 8.6 se observan las cantidades de estructuras que tienen un techo de teja de adobe, y su material de construcción es de teja. En total son 28 estructuras de adobe, distribuidas en 13 manzanas, y 79 estructuras de teja de barro, distribuidas en 21 manzanas. Comparando las figuras 8.5 y 8.6, se observa que las estructuras de adobe y techo de teja de barro, se concentran en la zona norte con uso habitacional, mientras que se presentan con menos frecuencia en la zona con mayor cantidad de comercios.



Figura 8.6. Croquis de ubicaciones para estructuras construidas de adobe y techo de teja de barro.

8.5.- INFERENCIA

El promedio de estructuras, ne , en cada manzana, del total registrado en el muestreo, es de $ne = 24$. Se considerará que las manzanas no muestreadas, Mno , tienen esta cantidad de estructuras, las cuales son un total de

$$Mno = 97 - 25 = 72 \text{ manzanas} \quad (8.1)$$

lo que corresponde a un total estimado de

$$TotEST = 72 \times 24 = 1728 \quad (8.2)$$

estructuras que no fueron muestreadas.

Agregando la cantidad de estructuras muestreadas de 589, se tiene el tamaño aproximado de la población estudiada

$$N = 1728 + 589 = 2317 \quad (8.3)$$

Tabla 8.5. Cantidades inferidas en la población.

CLASE DE VULNERABILIDAD	FRECUENCIAS MUESTREO POR CONGLOMERADOS 95% $n_o = 384$		CANTIDADES REQUERIDAS EN LA POBLACIÓN. $N=2317$
CLASE	FRECUENCIA ABSOLUTA	FRECUENCIA RELATIVA	
A	29	0.0492	114
B	4	0.0068	16
C	89	0.1511	350
D	413	0.7012	1625
E	43	0.0730	169
F	11	0.0187	43
TOTAL	589		2317

En la Tabla 8.5 se presenta la cantidad de estructuras inferidas en la población. Para el muestreo realizado, se registraron 413 estructuras de clase de vulnerabilidad D, cantidad que le corresponde una proporción de 0.7012 que aplicada a la cantidad total de estructuras estimada de 2317 y considerando un tamaño promedio de estructuras, $ne=24$, según lo observado, se tienen un total estimado de 1625 estructuras en la población de clase de vulnerabilidad D. Es necesario tener en cuenta que las cantidades inferidas en la población pueden variar, debido al muestreo que se tomó de base para realizar la estimación.

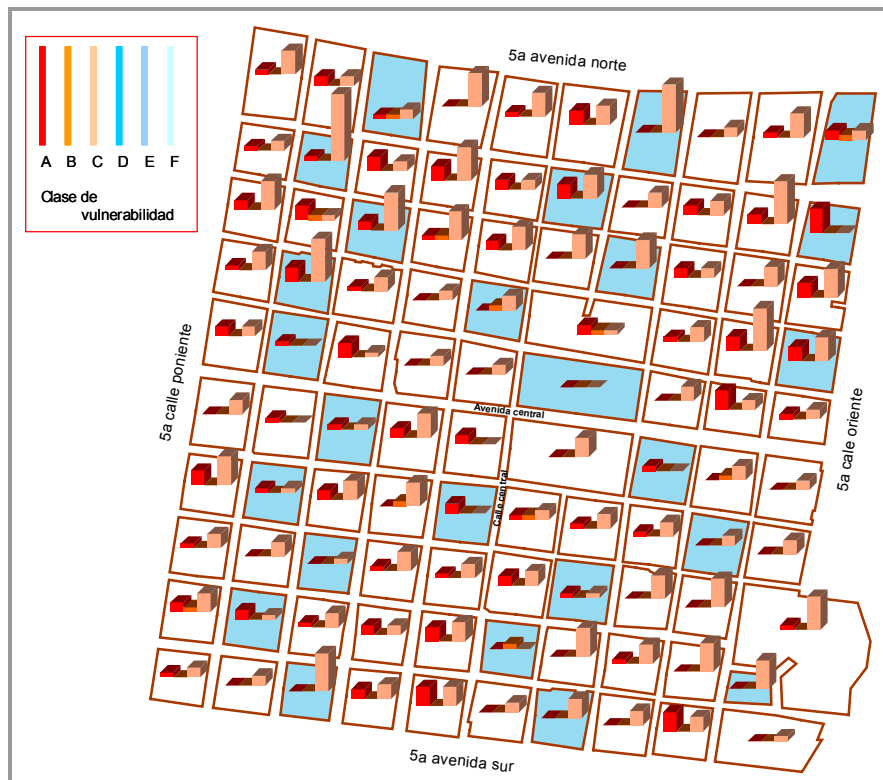


Figura 8.7. Vulnerabilidades inferidas. Clase A, B y C

Los mapas para esta zona se consideran una primera aproximación de la cuantificación de la vulnerabilidad de la ciudad de Tuxtla, Gutiérrez, los cuales podrán ser mejorados y modificados en tanto se cuente con un inventario más detallado de las características estructurales y condición física de las edificaciones de esta ciudad.

En la Figura 8.7 se presentan las cantidades de estructuras inferidas para las clases de vulnerabilidad A, B y C, en donde se puede observar que existe una cantidad poco mayor de estructuras de clase de vulnerabilidad A en la parte norte de la zona estudiada. Por su parte, en la Figura 8.8 se pueden observar las cantidades de estructuras para las clases de vulnerabilidad D, E y F. Como se indica en esta figura, la mayor cantidad de estructuras tienen una clase de vulnerabilidad D, tal y como la Tabla 8.5 lo indica.

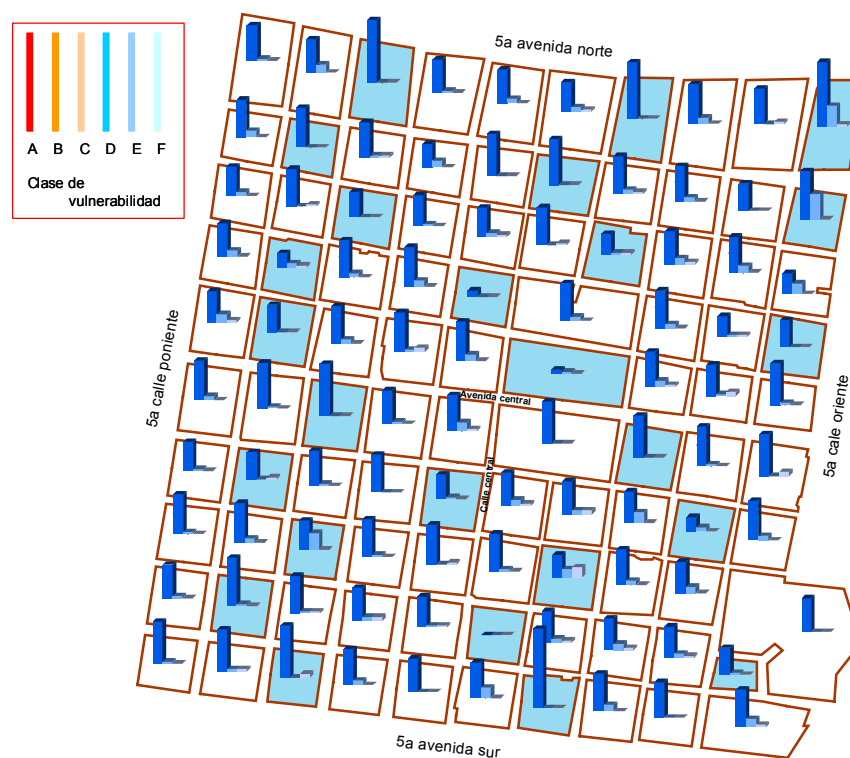


Figura 8.8. Vulnerabilidades inferidas. Clases D, E y F

COMENTARIOS FINALES Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN ABIERTAS

9.1.-ASPECTOS GENERALES

La identificación de estructuras vulnerables y la mitigación del riesgo sísmico es una tarea muy importante, ya que existen muchas construcciones en todas partes de la Ciudad de México y en las zonas sísmicas de la República que pueden sufrir daños severos o posible colapso.

Al revisar cientos o miles de estructuras, es importante considerar los costos del proceso de identificación de los elementos en peores condiciones, que puedan ser afectados ante la acción de sismos. El procedimiento que se plantea en este trabajo, toma en cuenta que muchas veces no es posible realizar un inventario de toda una población, pero considera la identificación pronta de aquellas estructuras que necesiten una revisión detallada, a fin de salvar vidas, disminuir la cantidad de heridos y evitar pérdidas económicas.

La oportunidad de contar con la información obtenida en estudios anteriores, a través de encuestas directas, tanto en la Colonia Roma como de la Ciudad de Chilpancingo, ha generado recomendaciones para evaluar la vulnerabilidad en una zona mediante encuestas a un reducido número de elementos, obtenidas mediante la aplicación de técnicas de muestreo estadístico.

Se estudiaron diferentes tipos de muestreo con varios niveles de confianza. Así, los tipos de muestreo aleatorio simple, muestreo aleatorio con selección sistemática, y por conglomerados, se obtuvieron con diferentes niveles de confianza, entre el 95% y el 80%. Se observó que los tres tipos de muestreo producen muestras representativas de la población, cuando se considera un nivel de confianza del 95% y hasta el 85%. Para un nivel de confianza del 80%, solo el muestreo sistemático llevó a una muestra representativa. Niveles de confianza menores, no producen muestras representativas, debido al tamaño de muestra reducido que conduce a eliminar características importantes en la población. Es recomendable obtener muestreos con niveles de significancia altos, y estos podrán disminuirse en función del presupuesto o disponibilidad de recursos humanos o de tiempo.

Las dos poblaciones de estudio son homogéneas en cuanto a los tipos de estructuras que contienen, ya que en la Colonia Roma, el 65% de los sistemas estructurales tienen una estructuración a base de muros de carga y contruirdos a base de mampostería con refuerzo y ladrillo sólido; mientras que en la Ciudad de Chilpancingo el 70% son estructuras con sistemas estructurales a base de muros de carga y un material de construcción predominante de mampostería con refuerzo. La homogeneidad de las poblaciones ayuda a reducir, sin perder representatividad, los niveles de confianza de los muestreos hasta un 85%, e incluso 80% para el muestreo aleatorio con selección sistemática. Esto hace necesario el estudio de otras poblaciones heterogéneas para verificar las tendencias obtenidas en este trabajo, así como de poblaciones de diferentes tamaños.

Los resultados obtenidos en las pruebas de comparación de proporciones de los muestreos realizados, en relación a la población, corroboran que aplicar una muestra proporciona resultados confiables y más económicos en comparación a la realización de un censo total en la zona de estudio, lo que se observa también en la similitud de las curvas de fragilidad obtenidas para la población y la muestra más representativa.

La vulnerabilidad de las estructuras inferidas en el procedimiento I de inferencia, tienen un origen aleatorio, así también, lo tienen sus índices de vulnerabilidad, lo que indica la importancia de incluir en los procedimientos de inferencia, técnicas de predicción-extrapolación de datos espaciales, que permitan relacionar cada variable de las estructuras en la muestra, así como incluir la distribución espacial de la muestra. Una posible forma de hacer esto se puede encontrar en Chasco-Yrigoyen (2003).

El procedimiento de inferencia II, repite una estructura determinada cantidad de veces de manera que en la población inferida, se tienen solamente las características encontradas en la muestra. Esto deja fuera la posibilidad de otras posibles combinaciones en las variables de la muestra con cierta probabilidad de existir en la población real.

Del levantamiento realizado en Tuxtla, Gutiérrez, es posible señalar la importancia del entrenamiento dado a los encuestadores, de manera que los criterios sean homogéneos, y que sea posible llevar un orden de acuerdo a la numeración realizada al marco de muestreo, y además, que exista la posibilidad de identificar cada uno los parámetros o características de la estructura en el trabajo de campo. Además, es importante la forma de realizar la entrevista a los propietarios, ya que de esto depende la calidad de las repuestas. Cabe resaltar también, la importancia de que los entrevistadores hayan sido originarios de la región, para la identificación de los sistemas estructurales registrados.

En lo relacionado a las pruebas de independencia, es importante verificar en la población analizada en la Ciudad de Chilpancingo, los criterios con los que esta variable fue considerada en relación a la vulnerabilidad. Para esta población el 47% de estructuras son de un nivel, y el 37% tiene dos niveles, lo que permite la posibilidad de que el criterio tomado en una inspección visual, no sea suficiente.

En las tres poblaciones analizadas, existen incertidumbres en cuanto a la variable “Año de construcción”, debido a que las personas entrevistadas muchas veces no son los

propietarios, sino son arrendatarios que desconocen este tipo de información, incluso los propietarios.

9.2.-LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN ABIERTAS

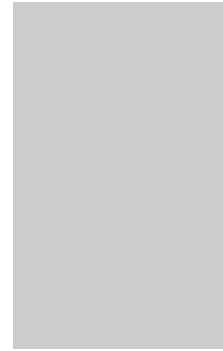
Las construcciones identificadas con este procedimiento, como “vulnerables”, pueden ser analizadas detalladamente, mediante metodologías de vulnerabilidad calculada, ya que una inspección del interior de las edificaciones no siempre es posible, y detalles importantes en la definición de la vulnerabilidad pueden no ser identificados.

Derivado de este trabajo, podría evaluarse la confiabilidad de la información de la Colonia Roma, así como de Chilpancingo, considerando que mientras mayor es la calidad en la información, mejores inferencias serán calculadas. La confiabilidad de los resultados depende de la calidad de los parámetros utilizados en la encuesta, del conocimiento de los encuestadores para identificar ciertas características con evaluaciones simplificadas, muchas veces visuales, y de la calidad de la información proporcionada por el encuestado. Errores en la información proporcionada pueden sesgar los resultados obtenidos.

Según lo observado en Tuxtla, Gutiérrez, los propietarios de las edificaciones, algunas veces tenían incertidumbre sobre el año de construcción de la estructura, pues muchas veces ellos son arrendatarios, o la persona que contrató la construcción ha fallecido. Lo mismo ocurre con el tipo de cimentación. Para estos dos parámetros, es indispensable mejorar la información, ya sea con la obtención de datos catastrales y el estudio detallado del tipo de suelo de la zona.

Para las estructuras inferidas, se conoce solamente la clase de vulnerabilidad que le corresponde a cada sistema que no fue muestreado. Con la ayuda del índice de vulnerabilidad, se puede aproximar algunas características de las estructuras muestreadas, pero no se conocen las características exactas que le corresponden a los índices de vulnerabilidad inferidos, por lo que una parte importante sería la asignación específica de las características correspondientes a las estructuras. Esto podría realizarse con el uso de las técnicas de análisis combinatorio, a fin de extraer las diferentes combinaciones entre variables y parámetros de cada variable, que proporcione un índice de vulnerabilidad igual al inferido.

El estudio de poblaciones con una distribución no homogénea, complementaría las recomendaciones para el análisis mediante muestras. Por otra parte, las pruebas de independencia entre diferentes parámetros y la “Clase de vulnerabilidad”, mostraron que algunos de ellos son independientes, contrario a lo que se esperaba. Es necesario verificar estos resultados para decidir qué parámetros no son prescindibles o bajo qué condiciones un parámetro es aplicable en el análisis de la vulnerabilidad de las construcciones.



REFERENCIAS

Alonso G., R. Cruz, F. Cruz, M. Ramírez, M. Ruiz, J. Iglesias, (1995), “Zonificación sísmica de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez”, Universidad Autónoma de Chiapas, Universidad Autónoma Metropolitana, México.

Arellano Méndez, E., H. Juárez García, A., Gómez Bernal, Lara Perea, J., y Sánchez Barbosa, E., (2003), “Caracterización y clases de vulnerabilidad de edificaciones de la Colonia Roma, Ciudad de México”, *Memorias, XIV CNIS*, León- Guanajuato, México.

Arellano Méndez, E., H. Juárez y A. Gómez (2002), “Vulnerabilidad Sísmica de la Ciudad de Chilpancingo, Guerrero”, *Memorias, XIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*, Puebla, Puebla, México.

Barbat, A. H., (1998), *El riesgo sísmico en el diseño de edificios*. Calidad Siderúrgica, España.

Bonilla, G., (1991), *Métodos prácticos de inferencia estadística*, segunda edición, Editorial Trillas, México.

Bonnet Díaz, R., (2003), “Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada”, *Tesis doctoral*, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Cataluña.

Caicedo, C., J., Canas, A. H., Barbat, A., Roca, X., Goula, y F. Maña, (1994), “Vulnerabilidad sísmica de edificios”, *Monografías, Serie de Ingeniería Sísmica*, Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería.

Chasco-Yrigoyen, C., (2003), “Econometría espacial aplicada a la predicción extrapolación de datos microterritoriales”, *Tesis doctoral*, Consejería de Economía e Innovación Tecnológica, España.

Chávez Morita, H. (2005), “Evaluación de una base de datos de encuestas de edificios en Chilpancingo, para definir procedimientos de muestreo estadístico”, *proyecto terminal de licenciatura*, Universidad Autónoma Metropolitana.

Devore, J. L., (2001), *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*, Quinta edición, Thomson Learning, México.

Federal Emergency Management Agency 154, (2002), “Rapid Visual Screening of Buildings for Potencial Seismic Hazards: A Handbook”, *Earthquake Hazards Reduction Series 41*, Segunda edición.

Figuerroa, J., (1974), Sismicidad en Chiapas, *Informe*, Instituto de Ingeniería, UNAM, México.

Gómez Soberón, C., (2002), “Riesgo sísmico de puentes de hormigón armado de sección cajón y vanos múltiples”, *Tesis doctoral*, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Cataluña.

Grünthal, G., (1998), “Escala Macrosísmica Europea 1998”, *Monografía*, segunda edición en español, Centro de Investigación y Mitigación de Desastres Naturales, Guatemala.

Isidro G. y V. Padilla (2003), “Vulnerabilidad estructural de la Colonia Roma en México D. F.”, *Proyecto terminal de licenciatura*, Universidad Autónoma Metropolitana.

Juárez García, H., A. Gómez, E. Arellano y E. Sordo, (2004), “Seismic Vulnerability Assessment for Colonia Roma in México City”, *Memorias, 13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canadá.

Lohr, S. L., (2000), *Muestreo: Diseño y Análisis*, International Thomson Editores, Arizona.

Mena Hernández, U., (2002), “Evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas”, *Tesis doctoral*, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Cataluña.

Mendenhall, W., (1986), R. L., Scheaffer, D. D., Wackerly, *Estadística Matemática con aplicaciones*, 3ª edición en español, Editorial Iberoamérica, México.

Nava, A., (1998) *Terremotos.*, Impresora y Encuadernadora Progreso, México, D.F.

Ross, M. S. (2002), *Probabilidad y estadística para ingenieros*, segunda edición en español, McGrawHill, México.

Safina Melone, S., (2002), “Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico”, *Tesis doctoral*, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Cataluña.

Searle, S. R., (1982), *Matrix algebra useful for statistics*, John Wiley & Sons, USA.

STATGRAPHICS Plus 5.0 (2000).

Terán, A., (2002), “Diseño por desempeño: Antecedentes, conceptos generales y perspectivas”, *Memorias, VII Simposio Nacional de Ingeniería Sísmica*, Cuernavaca, Morelos, México.

Walpole, R. E. y R. H. Myers, (1992), *Probabilidad y estadística*, Tercera edición en español, McGraw Hill, México.

Yépez Moya, F., (1996), “Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo sísmico de estructuras aplicando técnicas de simulación”, *Tesis doctoral*, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Cataluña.



APÉNDICES

APÉNDICE I. LEVANTAMIENTO DE DAÑO GENERAL PARA UNA POBLACIÓN

Elaboró: _____ Expediente: ____ **A**
 Fecha: _____

1.-Datos generales del inmueble

B

Calle y número: _____
 Entre: _____ y _____
 Colonia: _____ C. P. _____
 Delegación: _____

Croquis



2.- Descripción de la edificación

Posición del edificio en la manzana Esquina () Medio () Libre () **D**

Colindancias _____ **E**

Época de construcción Antes de 1957 () 1957 – 1985 () 1985-____() **F**

Numero de niveles sobre el terreno (incluyendo azoteas y mezanines) _____ **G**

Sótanos Si () No () Num.: _____ Desconocido () **H**

Tipo de terreno Zona de lago () Transición () Lomas () **I**

Uso principal **J**

Casa habitación () Departamentos () Comercios ()
 Oficinas publicas () Oficinas privadas () Industrias ()
 Estacionamientos () Bodegas () Educación ()
 Recreativo () Salud y protección civil ()
 Planta Baja Comercios, Plantas Superiores Habitación ()
 Planta Baja Comercio-Habitación, Plantas Superiores Habitación ()
 Otro: _____

3.- Evaluación de la cimentación

Tipo de Cimentación **K**

Zapatas

Corridas () Aisladas () Cajón ()

Pilotes

De punta con control () De punta sin control ()
 De fricción () Entrelazados ()

4.- Descripción de la estructura

Tipo de Estructura L

Concreto reforzado

Colado en lugar () Prefabricado ()

Mampostería sin refuerzo

Ladrillo Hueco () Ladrillo Sólido () Concreto ()

Otro: _____

Estructuración M

Marcos () Marcos c/muros de concreto ()

Marcos Contra venteados () Marcos c/muros de tabique ()

Marcos de Concreto () Mampostería Reforzada ()

Losa plana reticular, Columnas () Muros de Concreto ()

Muros de Carga () Vigüeta y Bovedilla ()

Losa maciza () Mixta ()

Marcos y Muros de Carga () Otro : _____

Sistemas de Piso N

Losa Maciza con trabes () Losa Plana ()

Losa Plana reticular () Prefabricado ()

Vigüeta y Bovedilla () Lamina ()

Otro : _____

Regularidad en Planta Buena () Intermedia () Mala () **O**

Regularidad Vertical Buena () Intermedia () Mala () **P**

Daños previos por sismos Si () Año: _____ No () No se sabe () **Q**

Reparaciones Anteriores Si () Año: _____ No () No se sabe () **R**

Tipo de reparación: _____

Remodelaciones Anteriores Si () Año: _____ No () No se sabe () **S**

Tipo de reparación: _____

5.- Seguridad de los elementos no estructurales

T

Nivel de Riesgo

	A	B	C
	Aceptable	Intermedio	Alto
Exterior			
Vidrios	()	()	()
Torres de anuncios	()	()	()
Acabados de fachadas	()	()	()
Balcones	()	()	()
Pretiles	()	()	()
Tanques elevados	()	()	()
Otros : _____	()	()	()

Interior			
Muros divisorios o particiones	()	()	()
Cielos rasos	()	()	()
Lámparas	()	()	()
Escaleras	()	()	()
Elevadores	()	()	()
Instalaciones (gas, eléctrica, etc.)	()	()	()
Otros : _____	()	()	()

Comentarios Generales:

U

V



DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES INCLUIDAS EN EL FORMATO

- A.- Se llevara un control de cada uno de los expedientes para obtener un mejor manejo y el acceso en la Base de Datos.
- B.- En los datos generales del Inmueble, se anota la calle, el número, referencias entre calles cercanas, el nombre de la colonia, su código postal, además de la delegación a la que pertenece. Estos datos son importantes ya que necesitamos de esta información para registrar una a una las estructuras.
- C.- Se elabora un croquis del lugar de ubicación del inmueble, colocando los nombres de las calles que lo rodean.
- D.- Se hace referencia de la posición de la construcción, como opciones tenemos esquina, en medio y libre, este punto nos dará una idea de cómo se comportara la estructura durante el evento sísmico ya que son diferentes los comportamiento de las estructuras ubicadas en esquina a las ubicadas en puntos medios o libres, siendo las excentricidades uno de los factores que contribuya al daño de la estructura.
- E.- Lo correspondiente a la colindancia nos dirá que construcciones se encuentran a los lados y el punto principal será que la altura entre piso coincida entre construcciones contiguas.
- F.- La época de Construcción es otro dato de relevancia, ya que nos informara si durante la época de construcción se utilizo algún reglamento de construcción.
- G.- En el número de niveles sobre el terreno se incluyen azoteas y mezanines.
- H.- El punto de los sótanos se manejo en este proyecto debido a que existen construcciones que cuentan con estos, la importancia de este punto es saber que resistencia es la que le puede proporcionar a la estructura en el caso de un evento sísmico.
- I.- El tipo de terreno es muy importante, y en especial en esta zona ya que el suelo sobre el cual se edificaron las construcciones es blando, aunque no solo depende del tipo de suelo si no también de la magnitud de las fuerzas sísmicas.
- J.- El punto al que se refiere del uso principal es para comparar la situación entre el uso que esta recibiendo la construcción y la del fin con que fue construida, pero también es saber el daño que le puede ocasionar a la gente.
- K.- Se evaluará el tipo de cimentación que tiene la construcción, este punto es de los más importantes ya que la cimentación será la que proporcione la estabilidad y la fuerza para que la estructura no se derrumbe o hunda.
- L.- En la descripción de la estructura se mencionan los materiales de que esta elaborada la construcción, como mampostería reforzada y no reforzada, concreto, etc., ya que cada tipo de material tiene comportamiento distinto durante un sismo.
- M.- En la parte de la estructuración se dirá de que elementos se componen las estructuras ya sean muros de carga, marcos de concreto o acero, etc.

N.- En el sistema de piso nos dirá que espesor tendrá la losa, así como el material del que esta elaborada, el peso de este y cual es la rigidización que da al diafragma de la estructura.

O.- La regularidad en planta es para saber que tan grandes o pequeñas son las estructuras, ya que de esto dependerá si su centro de rigidez coincida con el centro de masa, y evitara que tenga torsiones.

P.- En cuanto a la regularidad vertical se revisará que el número de entrantes y salientes no sean excesivas, ya que esto es lo que dañará a la estructura durante el evento sísmico.

Q.- Si existen daños previos debidos a sismos se señalaran si la vulnerabilidad de la estructura a aumentado con el paso del tiempo.

R.- Es importante saber si las estructuras han recibido reparaciones anteriores, por lo menos realizarles el mantenimiento adecuado para mantener su utilidad.

S.- En la parte de las remodelaciones se pondrá mucha atención ya que las condiciones de carga podrían cambiar en la estructura, si se quitaran muros, columnas, vigas, cambio de uso o si se rigidizará algún elemento de la estructura.

T.- Se detallaran puntos en la seguridad de los elementos no estructurales, determinándose un nivel de riesgo (Aceptable, Intermedio y Alto), esto se maneja para saber cuales son los elementos no estructurales que podrían sufrir daños y ocasionar daños a las personas.

U.- En la penúltima parte se harán comentarios generales, como hundimientos que presente la construcción, si existen cables o transformadores de luz, etc. Datos que no haya abarcado el formato.

V.- Finalmente se acompañara de un registro fotográfico, que mostrara los detalles importantes que en el formato no se describan.

APÉNDICE II. VERSIÓN ABREVIADA DE LA EME-98. (G. GRÜNTAL, 1998)

Intensidad EMS	Definición	Tipos de daños
I	No sensible	No sensible.
II	Sensible levemente	Sensible solamente para poca gente personas en reposo en vivienda.
III	Débil	Sensible adentro para poca gente. La gente en reposo siente una oscilación o temblor leve.
IV	Observado ampliamente	Sensible por muchos adentro y pocos afuera de edificios. Pocas personas se despiertan. Las ventanas, puertas y platos se estremecen.
V	Fuerte	Sensible por casi todos adentro y pocos afuera de edificios. Muchas personas se despiertan. Algunos se asustan. Los edificios tiemblan por doquier. Los objetos colgantes se mecen considerablemente. Pequeños objetos se desplazan. Las puertas y ventanas se abren y se cierran.
VI	Causa daños leves	Mucha gente se asusta y corre hacia fuera. Algunos objetos se caen. Muchas viviendas sufren daños leves no estructurales, como grietas muy delgadas y la caída de piezas de repello.
VII	Causa daños	Mucha gente se asusta y corre hacia fuera. Los muebles son desplazados y se caen muchos objetos de repisas. Muchos edificios ordinarios bien contruidos sufren daños moderados; pequeñas grietas en los muros, caída de repello, se caen partes de chimeneas; edificios antiguos pueden mostrar grandes grietas en los muros y fallas en las paredes y tabiques.
VIII	Causa daños severos	A mucha gente le cuesta mantenerse de pie. Muchas viviendas muestran grietas grandes en los muros. Pocos edificios bien contruidos muestran daños serios en los muros, mientras que las estructuras antiguas pueden colapsar.
IX	Destruccion	Pánico general. Muchas construcciones endebles colapsan. Aun los edificios ordinarios bien contruidos muestran daños serios: fallas graves en los muros y falla estructural parcial.
X	Muy destructivo	Muchos edificios ordinarios bien contruidos colapsan.
XI	Devastador	Casi todos los edificios ordinarios bien contruidos colapsan, aun se destruyen algunos que tienen buen diseño sismorresistente.
XII	Completamente devastador	Casi todos los edificios están destruidos.

APÉNDICE III. TABLAS DE FRECUENCIA DE LA COLONIA ROMA

Tabla III.1. Frecuencias para la variable “Ubicación”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	Esquina	67	0.1861	67	0.1861
2	Libre	1	0.0028	68	0.1889
3	Medio	292	0.8111	360	1.0000

Tabla II.2. Frecuencias para la variable “Año de construcción”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	Antes de 1957	156	0.4333	156	0.4333
2	Después de 1985	45	0.1250	201	0.5583
3	Entre 1957 y 1985	159	0.4417	360	1.0000

Tabla III.3. Frecuencias para la variable “Número de niveles”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0	3	0.0083	3	0.0083
2	1	40	0.1111	43	0.1194
3	10	1	0.0028	44	0.1222
4	11	1	0.0028	45	0.1250
5	12	1	0.0028	46	0.1278
6	15	1	0.0028	47	0.1306
7	19	1	0.0028	48	0.1333
8	2	145	0.4028	193	0.5361
9	3	76	0.2111	269	0.7472
10	4	22	0.0611	291	0.8083
11	5	40	0.1111	331	0.9194
12	6	20	0.0556	351	0.9750
13	7	3	0.0083	354	0.9833
14	8	6	0.0167	360	1.0000

Tabla III.4. Frecuencias para la variable “Número de sótanos”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0	301	0.8361	301	0.8361
2	1	59	0.1639	360	1.0000

Tabla III.5. Frecuencias para la variable “Uso principal”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	Banco	1	0.0028	1	0.0028
2	Bodegas	5	0.0139	6	0.0167
3	Casa Habitación	102	0.2833	108	0.3000
4	Comercios	17	0.0472	125	0.3472
5	Departamentos	47	0.1306	172	0.4778
6	Deshabitada	2	0.0056	174	0.4833
7	Educación	16	0.0444	190	0.5278
8	Estacionamiento	11	0.0306	201	0.5583
9	Gasolinera	1	0.0028	202	0.5611
10	Industrias	1	0.0028	203	0.5639
11	Laboratorios	1	0.0028	204	0.5667
12	Oficinas Privadas	42	0.1167	246	0.6833
13	Oficinas Públicas	5	0.0139	251	0.6972
14	Planta baja comercios Superiores habitacional	84	0.2333	335	0.9306
15	Planta baja comercios, Superiores oficinas	6	0.0167	341	0.9472
16	Recreativos	1	0.0028	342	0.9500
17	Salud y protección Civil	8	0.0222	350	0.9722
18	Taller	4	0.0111	354	0.9833
19	Templo Religioso	3	0.0083	357	0.9917
20	Terreno Baldío	2	0.0056	359	0.9972
21	Viviendas	1	0.0028	360	1.0000

Tabla III.6. Frecuencias para la variable “Tipo de cimentación”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	Cajón	42	0.1167	42	0.1167
2	Mampostería de piedra	194	0.5389	236	0.6556
3	Pilotes de fricción	1	0.0028	237	0.6583
4	Sin Cimentación	8	0.0222	245	0.6806
5	Zapatillas aisladas	1	0.0028	246	0.6833
6	zapatillas corridas	114	0.3167	360	1.0000

Tabla III.7. Frecuencias para la variable “Material”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	Acero	3	0.0083	3	0.0083
2	Concreto reforzado colado en el lugar	97	0.2694	100	0.2778
3	Concreto reforzado Prefabricado	2	0.0056	102	0.2833
4	Mampostería con refuerzo	240	0.6667	342	0.9500
5	Mampostería sin refuerzo	9	0.0250	351	0.9750
6	Sin Estructura	9	0.0250	360	1.0000

Tabla III.8. Frecuencias para la variable “Tipología estructural”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	Columnas de acero	1	0.0028	1	0.0028
2	Mampostería reforzada	74	0.2056	75	0.2083
3	Marcos contraventeados	1	0.0028	76	0.2111
4	Marcos c/muros de concreto	6	0.0167	82	0.2278
5	Marcos c/muros de tabique	55	0.1528	137	0.3806
6	Marcos de acero	2	0.0056	139	0.3861
7	Marcos de Concreto	32	0.0889	171	0.4750
8	Marcos y muros de Carga	5	0.0139	176	0.4889
9	Mixta	1	0.0028	177	0.4917
10	Muros de carga	174	0.4833	351	0.9750
11	sin estructura	9	0.0250	360	1.0000

Tabla III.9. Frecuencias para la variable “Sistema de piso”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	Armadura Cubierta con lámina	4	0.0111	4	0.0111
2	Bóveda catalana	1	0.0028	5	0.0139
3	Losa maciza con trabes	217	0.6028	222	0.6167
4	Losa plana	1	0.0028	223	0.6194
5	Losa plana reticular	10	0.0278	233	0.6472
6	Losa catalana	113	0.3139	346	0.9611
7	Losacero	2	0.0056	348	0.9667
8	Sin Techo	9	0.0250	357	0.9917
9	Techumbre de lámina	2	0.0056	359	0.9972
10	Tridilosa	1	0.0028	360	1.0000

Tabla III.10. Frecuencias para la variable “Regularidad en planta”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	Buena	290	0.8056	290	0.8056
2	Intermedia	62	0.1722	352	0.9778
3	Mala	8	0.0222	360	1.0000

Tabla III.11. Frecuencias para la variable “Regularidad vertical”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	Buena	328	0.9111	328	0.9111
2	Intermedia	31	0.0861	359	0.9972
3	Mala	1	0.0028	360	1.0000

Tabla III.12. Frecuencias para la variable “Daños previos por sismo”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	No	263	0.7306	263	0.7306
2	No se sabe	26	0.0722	289	0.8028
3	Si	71	0.1972	360	1.0000

Tabla III.13. Frecuencias para la variable “Reparaciones anteriores”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	No	313	0.8694	313	0.8694
2	No se sabe	33	0.0917	346	0.9611
3	Si	12	0.0333	358	0.9944
4	Si, en 2002	1	0.0028	359	0.9972
5	Si, en 2003	1	0.0028	360	1.0000

Tabla III.14. Frecuencias para la variable “Seguridad de los elementos estructurales”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	Aceptable	278	0.7722	278	0.7722
2	Alto	10	0.0278	288	0.8000
3	Intermedia	72	0.2000	360	1.0000

Tabla III.15. Frecuencias para la variable “Clase de vulnerabilidad”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	A	35	0.0972	35	0.0972
2	B	111	0.3083	146	0.4056
3	C	164	0.4556	310	0.8611
4	D	38	0.1056	348	0.9667
5	E	3	0.0083	351	0.9750
6	F	9	0.0250	360	1.0000

Tabla III.16. Frecuencias para la variable “Grado de daño”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0	12	0.0333	12	0.0333
2	1	281	0.7806	293	0.8139
3	2	62	0.1722	355	0.9861
4	3	2	0.0056	357	0.9917
5	4	2	0.0056	359	0.9972
6	5	1	0.0028	360	1.0000

APÉNDICE IV. DIFERENCIA ENTRE PROPORCIONES DE LA COLONIA ROMA.

Tabla IV.1. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo sistemático al 95% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	35	0.0911	0.8596
B	109	0.2839	0.5595
C	193	0.5026	0.9276
D	37	0.0964	0.6233
E	2	0.0052	0.9319
F	8	0.0208	0.4489
TOTAL	384		

Tabla IV.2. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo por conglomerados al 95% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	49	0.1032	0.3298
B	130	0.2737	0.8399
C	233	0.4905	0.5789
D	47	0.0989	0.7103
E	3	0.0063	0.7036
F	13	0.0274	0.9606
TOTAL	475		

Tabla IV.3. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo aleatorio simple al 95% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	30	0.0781	0.5295
B	93	0.2422	0.2903
C	202	0.5260	0.4682
D	42	0.1094	0.8016
E	0	0.0000	0.1709
F	17	0.0443	0.0994
TOTAL	384		

Tabla IV.4. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo sistemático al 90% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	19	0.0701	0.3268
B	78	0.2878	0.5215
C	133	0.4908	0.6628
D	31	0.1144	0.6432
E	2	0.0074	0.5996
F	8	0.0295	0.8748
TOTAL	271		

Tabla IV.5. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo por conglomerados al 90% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	33	0.1183	0.1142
B	76	0.2724	0.9050
C	132	0.4731	0.3264
D	27	0.0968	0.6823
E	2	0.0072	0.6256
F	9	0.0323	0.6821
TOTAL	279		

Tabla IV.6. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo aleatorio simple al 90% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	19	0.0704	0.3347
B	69	0.2556	0.6483
C	141	0.5222	0.6079
D	29	0.1074	0.9033
E	0	0.0000	0.2081
F	12	0.0444	0.1439
TOTAL	270		

Tabla IV.7. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo sistemático al 85% de confianza.

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	18	0.087	0.9503
B	64	0.3092	0.2248
C	102	0.4928	0.7375
D	16	0.0773	0.2182
E	0	0.0773	0.3146
F	7	0.0338	0.6268
TOTAL	207		

Tabla IV.8. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo por conglomerados al 85% de confianza

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	24	0.1067	0.3713
B	53	0.2356	0.2911
C	116	0.5156	0.7729
D	22	0.0978	0.7436
E	1	0.0044	0.9325
F	9	0.0400	0.3139
TOTAL	225		

Tabla IV.9. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo aleatorio simple al 85% de confianza

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	18	0.0870	0.9508
B	52	0.2512	0.5897
C	103	0.4976	0.8374
D	25	0.1208	0.4905
E	0	0.0000	0.3146
F	9	0.0435	0.2145
TOTAL	207		

Tabla IV.10. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo sistemático al 80% de confianza

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	17	0.1037	0.5134
B	38	0.2317	0.3061
C	84	0.5122	0.8654
D	22	0.1341	0.2533
E	1	0.0061	0.8319
F	2	0.0122	0.2360
TOTAL	164		

Tabla IV.11. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo por conglomerados al 80% de confianza

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	10	0.0667	0.3700
B	48	0.3200	0.1820
C	67	0.4467	0.1723
D	21	0.1400	0.1884
E	0	0.0000	0.3919
F	4	0.0267	0.9360
TOTAL	150		

Tabla IV.12. Resumen de frecuencias y valor p para muestreo aleatorio simple al 80% de confianza

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Valor p
A	9	0.0549	0.1461
B	52	0.3171	0.1903
C	85	0.5183	0.7510
D	10	0.061	0.0760
E	1	0.0061	0.8319
F	7	0.0427	0.2843
TOTAL	164		

APÉNDICE V. TABLAS DE FRECUENCIA DE CHILPANCINGO

Tabla V.1. Frecuencias para la variable “Ubicación”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	Esquina	60	0.1608	60	0.1608
2	Libre	3	0.0080	63	0.1689
3	Medio	310	0.8310	373	1

Tabla V.2. Frecuencias para la variable “Año de construcción”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	Antes de 1957	14	0.0565	14	0.0565
2	Entre 1957 y 1981	126	0.5081	140	0.5645
3	Entre 1982 y 1985	43	0.1734	183	0.7379
4	Después de 1985	65	0.2621	248	1.0000

Tabla V.3. Frecuencias para la variable “Número de niveles”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0	4	0.0104	4	0.0104
2	1	173	0.4505	177	0.4609
3	2	141	0.3672	318	0.8281
4	3	39	0.1016	357	0.9297
5	4	18	0.0469	375	0.9766
6	5	6	0.0156	381	0.9922
7	6	2	0.0052	383	0.9974
8	8	1	0.0026	384	1.0000

Tabla V.4. Frecuencias para la variable “Número de sótanos”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0	384	1.0000	384	1.0000

Tabla V.5. Frecuencias para la variable “Uso principal”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	Casa habitación	220	0.5729	220	0.5729
2	Estacionamiento	6	0.0156	226	0.5885
3	Planta baja comercio	103	0.2682	329	0.8568
4	Servicio comunitario	3	0.0078	332	0.8646
5	Servicio particular	34	0.0885	366	0.9531
6	Servicio público	14	0.0365	380	0.9896
7	Terreno Baldío	4	0.0104	384	1.0000

Tabla V.6. Frecuencias para la variable “Tipo de cimentación”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	Cajón	2	0.0052	2	0.0052
2	Mampostería de adobe	5	0.0130	7	0.0182
3	Mampostería de piedra	234	0.6094	241	0.6276
4	Polines enterrados	5	0.0130	246	0.6406
5	Sin cimentación	9	0.0234	255	0.6641
6	Zapatillas aisladas	4	0.0104	259	0.6745
7	Zapatillas aisladas más	3	0.0078	262	0.6823
8	Zapatillas corridas	122	0.3177	384	1.0000

Tabla V.7. Frecuencias para la variable “Material”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	Acero	3	0.0078	3	0.0078
2	Adobe con refuerzo	16	0.0417	19	0.0495
3	Adobe sin refuerzo	19	0.0495	38	0.0990
4	Concreto reforzado	24	0.0625	62	0.1615
5	Mampostería con refuerzo	303	0.7891	365	0.9505
6	Mampostería sin refuerzo	8	0.0208	373	0.9714
7	Ninguna	4	0.0104	377	0.9818
8	Otros	7	0.0182	384	1.0000

Tabla V.8. Frecuencias para la variable “Tipología estructural”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	Marcos	10	0.0260	10	0.0260
2	Marcos y muros de carga	17	0.0443	27	0.0703
3	Mixta	1	0.0026	28	0.0729
4	Muros de carga	334	0.8698	362	0.9427
5	Muros de madera	5	0.0130	367	0.9557
6	Sin estructura	7	0.0182	374	0.9740
7	Sistema de techo de	10	0.0260	384	1.0000

Tabla V.9. Frecuencias para la variable “Sistema de piso”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	Losa maciza	277	0.7214	277	0.7214
2	Losa reticular	3	0.0078	280	0.7292
3	Lámina	58	0.1510	338	0.8802
4	Madera y teja	40	0.1042	378	0.9844
5	Sin techo	6	0.0156	384	1.0000

Tabla V.10. Frecuencias para la variable “Regularidad en planta”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	Buena	324	0.8686	324	0.8686
2	Intermedia	34	0.0912	358	0.9598
3	Mala	15	0.0402	373	1.0000

Tabla V.11. Frecuencias para la variable “Regularidad vertical”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	Buena	332	0.8901	332	0.8901
2	Intermedia	26	0.0697	358	0.9598
3	Mala	15	0.0402	373	1.0000

Tabla V.12. Frecuencias para la variable “Daños previos por sismo”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	No	2	0.0052	2	0.0052
2	No se sabe	382	0.9948	384	1.0000

Tabla V.13. Frecuencias para la variable “Reparaciones anteriores”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	No	2	0.0052	2	0.0052
2	No se sabe	382	0.9948	384	1.0000

Tabla V.14. Frecuencias para la variable “Grado de daño”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0	347	0.9036	347	0.9036
2	1	25	0.0651	372	0.9688
3	2	3	0.0078	375	0.9766
4	3	2	0.0052	377	0.9818
5	4	6	0.0156	383	0.9974
6	5	1	0.0026	384	1.0000

APÉNDICE VI. TABLAS DE FRECUENCIA DE TUXTLA GUTIÉRREZ

Tabla VI.1 Frecuencias para la variable “Ubicación”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada
1	Esquina	93	0.1579	93
2	Libre	3	0.0051	96
3	Medio	493	0.8370	589

Tabla VI.2. Frecuencias para la variable “Año de construcción”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada
1	Antes de 1974	8	0.0136	8
2	Después de 1995	22	0.0374	30
3	Entre 1974 y 1995	559	0.9491	589

Tabla VI.3. Frecuencias para la variable “Número de niveles”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada
1	0	1	0.0017	1
2	1	324	0.5501	325
3	2	194	0.3294	519
4	3	50	0.0849	569
5	4	11	0.0187	580
6	5	4	0.0068	584
7	6	2	0.0034	586
8	7	2	0.0034	588
9	9	1	0.0017	589

Tabla VI.5. Frecuencias para la variable “Número de sótanos”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada
1	0	588	0.9983	588
2	1	1	0.0017	589

Tabla VI.4. Frecuencias para la variable “Uso principal”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada
1	Banco	2	0.0034	2
2	Bodegas	4	0.0068	6
3	Casa Habitación	235	0.3990	241
4	Comercio	194	0.3294	435
5	Comercio Exterior, Casa habitación interior	6	0.0102	441
6	Departamentos	4	0.0068	445
7	Educación	8	0.0136	453
8	Estacionamientos	11	0.0187	464
9	Estructura Deshabitada	1	0.0017	465
10	Estructura en Construcción	6	0.0102	471
11	Iglesia	2	0.0034	473
12	Lote Baldío	4	0.0068	477
13	Mercado Publico	1	0.0017	478
14	No Se Tiene Información	1	0.0017	479
15	Oficinas privadas	12	0.0204	491
16	Oficinas Públicas	16	0.0272	507
17	Palapa	1	0.0017	508
18	Planta Baja Comercio, Superiores Habitación	74	0.1256	582
19	Planta Baja Comercio, Superiores Oficinas	2	0.0034	584
20	Recreativo	3	0.0051	587
21	Salud y protección Civil	2	0.0034	589

Tabla VI.6. Frecuencias para la variable “Material”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada
1	Adobe	28	0.0475	28
2	Concreto reforzado colado en el lugar	22	0.0374	50
3	Madera	2	0.0034	52
4	Mampostería sin refuerzo ladrillo sólido	3	0.0051	55
5	Mampostería confinada ladrillo sólido	496	0.8421	551
6	Mampostería confinada ladrillo sólido concreto	26	0.0441	577
7	No se sabe	3	0.0051	580
8	Sin Estructura	9	0.0153	589

Tabla VI.7. Frecuencias para la variable “Tipo de cimentación”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada
1	Cimientos de Piedra	11	0.0187	11
2	No se sabe	34	0.0577	45
3	Sin estructura	2	0.0034	47
4	Zapatas Aisladas	532	0.9032	579
5	Zapatas Corridas	10	0.0170	589

Tabla VI.8. Frecuencias para la variable “Tipología estructural”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada
1	Adobe con refuerzo	2	0.0034	2
2	Adobe sin refuerzo	26	0.0441	28
3	Estructura metálica	1	0.0017	29
4	Marco Contra Venteados	1	0.0017	30
5	Marco c/muros de Concreto	4	0.0068	34
6	Marcos c/muros de Tabique	17	0.0289	51
7	Marcos de madera	3	0.0051	54
8	Marcos de concreto	2	0.0034	56
9	Muros de carga	521	0.8846	577
10	No se sabe	3	0.0051	580
11	Sin estructura	9	0.0153	589

Tabla VI.9. Frecuencias para la variable “Sistema de piso”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada
1	Lámina	30	0.0509	30
2	Lámina y teja de asbesto	2	0.0034	32
3	Lámina y teja de barro	1	0.0017	33
4	Losa maciza	356	0.6044	389
5	Losa maciza con trabes	14	0.0238	403
6	Losa plana	36	0.0611	439
7	Losa plana reticular	5	0.0085	444
8	Losa maciza	23	0.0390	467
9	No se sabe	2	0.0034	469
10	Palma y Madera	1	0.0017	470
11	Sin estructura	11	0.0187	481
12	Teja de asbesto	26	0.0441	507
13	Teja de barro	79	0.1341	586
14	Teja de barro y adobe	3	0.0051	589

Tabla VI.10. Frecuencias para la variable “Regularidad en planta”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada
1	Buena	240	0.4075	240
2	Intermedia	289	0.4907	529
3	Mala	48	0.0815	577
4	No tiene	10	0.0170	587
5	No se sabe	2	0.0034	589

Tabla VI.11. Frecuencias para la variable “Regularidad vertical”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada
1	Buena	244	0.4143	244
2	Intermedia	275	0.4669	519
3	Mala	58	0.0985	577
4	No tiene	10	0.0170	587
5	No se sabe	2	0.0034	589

Tabla VI.12. Frecuencias para la variable “Daños previos por sismo”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada
1	No	439	0.7453	439
2	No se sabe	121	0.2054	560
3	Si	29	0.0492	589

Tabla VI.13. Frecuencias para la variable “Reparaciones anteriores”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada
1	No	438	0.7436	438
2	No se sabe	116	0.1969	554
3	Si	35	0.0594	589

Tabla VI.14. Frecuencias para la variable “Seguridad de los elementos no estructurales”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada
1	Aceptable	324	0.5501	324
2	Alto	9	0.0153	333
3	Intermedio	243	0.4126	576
4	No tiene	10	0.0170	586
5	No se sabe	3	0.0051	589

Tabla VI.15. Frecuencias para la variable “Clase de vulnerabilidad”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada
1	A	29	0.0492	29
2	B	4	0.0068	33
3	C	89	0.1511	122
4	D	413	0.7012	535
5	E	43	0.0730	578
6	F	11	0.0187	589

Tabla VI.16. Frecuencias para la variable “Grado de daño”.

Clase	Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada
1	1	518	0.8795	518
2	2	62	0.1053	580
3	3	8	0.0136	588
4	4	1	0.0017	589

Tabla VI.17. Tabla de contingencia. Uso habitacional y Comercio por Manzana

MANZANA	Habitacional	Comercio
A	28	11
	11.97%	6.01%
B	26	4
	11.11%	2.19%
C	22	3
	9.40%	1.64%
D	27	3
	11.54%	1.64%
E	13	7
	5.56%	3.83%
F	31	5
	13.25%	2.73%
G	4	11
	1.71%	6.01%
H	10	5
	4.27%	2.73%
I	6	6
	2.56%	3.28%
J	1	3
	0.43%	1.64%
K	11	4
	4.70%	2.19%
M	7	5
	2.99%	2.73%
N	3	16
	1.28%	8.74%
O	0	5
		2.73%
P	0	6
		3.28%
Q	0	8
		4.37%
R	3	6
	1.28%	3.28%
S	3	15
	1.28%	8.20%
T	4	12
	1.71%	6.56%
U	7	5
	2.99%	2.73%
W	15	9
	6.41%	4.92%
X	11	11
	4.70%	6.01%
Y	2	23
	0.85%	12.57%
Total	234	183
	100.00%	100.00%

Tabla VI.18. Tabla de contingencia. Teja de barro y Adobe por Manzana

MANZANA	Teja de Barro	Adobe
A	6	3
	7.59%	10.71%
B	9	0
	11.39%	
C	3	
	3.80%	
D	7	1
	8.86%	3.57%
E	5	3
	6.33%	10.71%
F	6	5
	7.59%	17.86%
G	4	
	5.06%	
H	4	3
	5.06%	10.71%
I	6	3
	7.59%	10.71%
J	1	
	1.27%	
K	2	2
	2.53%	7.14%
M	3	1
	3.80%	3.57%
N	2	1
	2.53%	3.57%
P	1	
	1.27%	
R	1	1
	1.27%	3.57%
S	4	1
	5.06%	3.57%
T	3	2
	3.80%	7.14%
U	4	
	5.06%	
W	2	2
	2.53%	7.14%
X	5	
	6.33%	
Y	1	
	1.27%	
Total	79	28
	100.00%	100.00%